

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra tváření materiálu

PŘÍPRAVA PRO ZAVEDENÍ NOVÉHO TYPU MONOBLOKOVÉHO KOLA

PREPARING FOR THE INTRODUCTION OF A NEW TYPE F MONOBLOCK WHEELS

Bakalářská práce

Autor:

Tomáš Laubr

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Kliber, CSc.

Zadání bakalářské práce

Student:

Tomáš Laubr

Studijní program:

B2109 Metalurgické inženýrství

Studijní obor:

2109R038 Moderní metalurgické technologie

Téma:

Příprava pro zavedení nového typu monoblokového kola
Preparing for the introduction of a new type of monoblock wheels

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Charakteristické vlastnosti materiálu na monobloky
3. Popis technologie výroby
4. Vlastní návrh postupu výroby nového kola
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] CVETKOVSKI, K., AHLSTRÖM, J. Characterisation of plastic deformation and thermal softening of the surface layer of railway passenger wheel treads. *Wear*. 2013, 300, 200–204.
- [2] KOLLEROVÁ, M. et. al. *Valcovanie*. Alfa: Bratislava, 1991. ISBN 80-05-0729-9.
- [3] DOBRZANSKI, A. L. *Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe*, WNT, Gliwice- Warszawa, 2006, ISBN 83-204-3249-9.
- [4] DONGFANG, Z. et al. Optimization of strength and toughness of railway wheel steel by alloy design. *Materials and Design*. 2016, 92, 998–1006.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jiří Kliber, CSc.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Weber

Datum zadání: 30.11.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018

prof. Ing. Ivo Schindler, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

- ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.
Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.
- ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

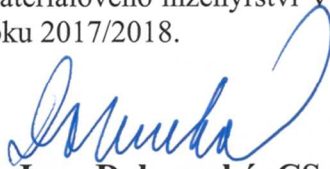
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava


PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 25.4.2018


.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat panu prof. Ing. Jiřímu Klibrovi, CSc., Ing. Jiřímu Weberovi za odborné vedení a podnětné rady a připomínky při zpracování tématu bakalářské práce.

ABSTRAKT

V této bakalářské práci se budu zabývat technologií tváření nového typu monoblokového kola. Práce obsahuje celkem 5 kapitol. V první kapitole je stručně popsána historie firmy BONATRANS GROUP. Také zde popisují technologii výroby železničních náprav a kol. V další části popisují charakteristické vlastnosti materiálu na výrobu monoblokových kol. Ve třetí kapitole popisují technologii výroby. Ve čtvrté části je popsán návrh postupu výroby.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železniční kolo, kování, válcování, tepelné zpracování, technologický postup

.

ABSTRACT

In this thesis I will discuss forming a new type of technology monoblock wheels. Work includes 5 chapters. The first chapter briefly describes the history of the company BONATRANS GROUP. There also describe the technology of the production of railway wheels and axles. The next section describes the characteristics of the material for manufacturing monoblock al. In the third chapter describes the production technology. The fourth section describes the design of the manufacturing process.

KEYWORDS

Railway wheel, forging, rolling, heat treatment, technological process

1	ÚVOD.....	3
2	POPIS TECHNOLOGIE VÝROBY.....	4
	2.1. Sortiment výrobků firmy.....	4
	2.2 Výroba železničního kola.....	10
	2.2.1 Materiál pro výrobu kol a zápustek.....	10
	2.2.2 Ohřívání materiálu.....	13
	2.2.3 Operace přechování.....	14
	2.2.4 Tvarování na lise.....	16
	2.2.5 Děrování.....	17
	2.2.6 Válcování kola.....	18
	2.2.7 Tvarování desky kola.....	20
	2.2.8 Tepelné zpracování.....	21
	2.2.8.1 Staré tepelné zpracování.....	21
	2.2.8.2 Nové tepelné zpracování.....	24
	2.2.9 Kontrola surových dílů.....	29
3	CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU NA MONOBLOKY.....	29
	3.1 Tahové zkoušky.....	31
	3.2 Zkoušky rázu v ohybu.....	32
	3.3 Zkouška tvrdosti materiálu.....	33
	3.4 Lomová houževnatost.....	35
	3.5 Čistota mikrostruktury.....	36
	3.6 Chemické složení.....	37
	3.7 Magnetická zkouška.....	38
4	VLASTNÍ NÁVRH POSTUPU VÝROBY NOVÉHO KOLA.....	38

4.1 Požadavky stanovené zákazníkem.....	38
4.2 Vypracování výkresové dokumentace.....	39
4.3 Stanovení ohřívacích teplot.....	39
4.4 Navrhnutí tvářecího postupu a tvarovacích nástrojů	40
4.5 Zadání teplotních režimů NTZ.....	42
4.6 Technologické zkoušky.....	44
4.6.1 Chemická analýza.....	44
4.6.2 Tahová zkouška.....	45
4.6.3 Zkouška rázem.....	45
4.6.4 Zkouška tvrdosti.....	45
4.6.5 Výsledky laserového měření.....	46
5 ZÁVĚR.....	47
Seznam použité literatury.....	48
Přílohy	
.....	C
hyba! Záložka není definována.	

1 ÚVOD

BONATRANS GROUP a. s., dále (BTG) je česká společnost, která sídlí v Bohumíně. Počátek firmy se vztahuje k roku 1959, kdy začala výstavba závodu na výrobu kol a dvojkolí pro železniční dopravu v areálu firmy Železářny a drátovny Bohumín (ŽDB).

Firma vyvíjí, vyrábí a dodává široký sortiment kol, náprav, dvojkolí a obručí pro všechny kolejová vozidla. Tyto výrobky dodává do více než 80 světových zemí. Ročně je vyrobeno a vyexpedováno na 150 000 kol, 30 000 dvojkolí a 15 000 náprav. Řadí se mezi největší výrobce železničního dvojkolí v Evropě a patří mezi světové lídry oboru. [1]

Cílem této bakalářské práce je určit postup návrhu zpracování zakázky nového typu monoblokového kola **255.28**. Pro výrobu monoblokového kola byla vybrána ocel jakosti EA1N, která splňuje podmínky zadané ČSN EN 13262 + A2. Rozměry pro kontinuálně litou ocel byly vypočteny na základě vypracovaného technického výkresu.

Bakalářská práce se skládá ze tří kapitol. První kapitola je zaměřena na teoretický rozbor výroby železničního monoblokového kola a nápravy. Kapitola druhá představuje zkoušky materiálů, které jsou na výrobních prováděny (zkoušky tahové, zkoušky tvrdosti, zkoušky rázu v ohybu aj.). Poslední tematická kapitola je zaměřená na vlastní návrh postupu výroby nového kola, které chtěl nechat vyrobit zákazník z Francie.

2 POPIS TECHNOLOGIE VÝROBY A VÝROBKY FIRMY

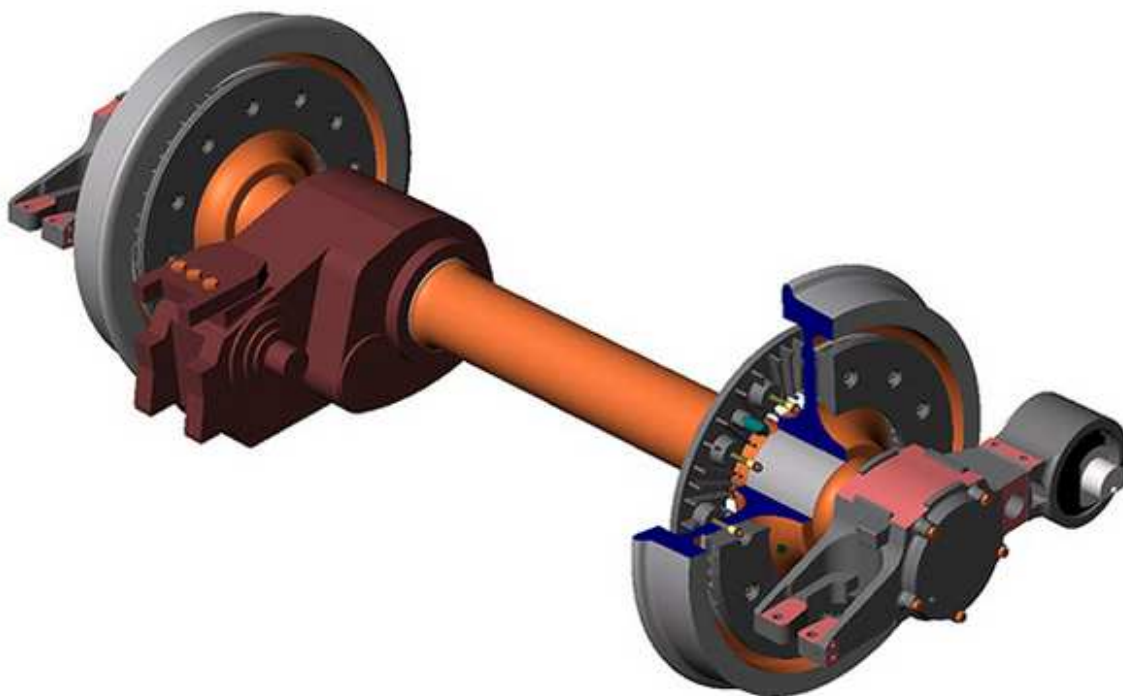
Společnost BONATRANS GROUP a. s. je evropský výrobce a konstruktér železničního dvojkolí, který dodává firmám a výrobcům železničních kolejových vozidel kompletní sortiment prvotřídních výrobků a spolehlivých řešení na nejvyšší možné úrovni. Společnost vyrábí, montuje a dodává železniční dvojkolí pro vysokorychlostní vlaky, nákladní vlaky a lokomotivy, také se zabývá nízkopodlažním řešením pro městské železniční dopravy včetně pryží odpružených kol (gumikol) a řešením pro tlumení hluku.

Mezi hlavní přednosti společnosti patří také to, že výrobky, které vyrábí a montuje, vypracovává na základě spolupráce zákazníky na základě **jejich** konkrétních požadavků. Mimo to se také zaměřuje na komplexní poprodejní servis včetně dodávání náhradních dílů. [1]

2.1 Sortiment výrobků firmy

Dvojkolí – je hlavním rozhraním mezi vlakem a infrastrukturou železnice. Železniční dvojkolí musí nést tíhu vozidla ke kterému je připojeno a musí snést rychlost až 450 km/ hod. proto je to komponent, který má hlavní vliv na **bezpečnost** kolejového vozidla. [1]

Dvojkolí je složeno z nápravy a dvou železničních kol. Kola se na nápravu listují za studena, čímž je zaručeno pevné mechanické spojení, viz obrázek 1.



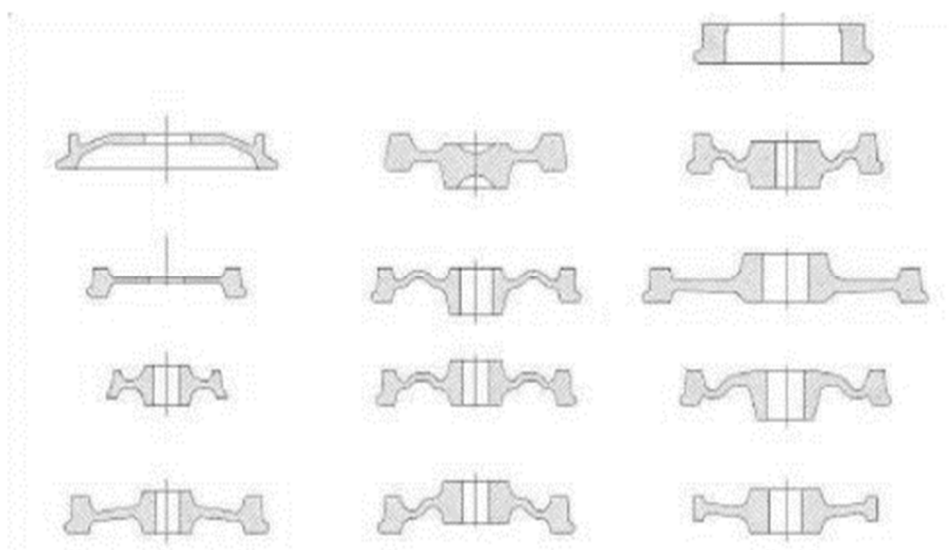
Obrázek 1. Schéma železničního dvojkolí [2]

Dodávky dvojkolí firmy BTG jsou určena pro:

- Nízkopodlažní dvojkolí se samostatnou nápravnicí a pryží odpruženými koly;
- Kompletní lokomotivní dvojkolí;
- Dvojkolí pro vysokorychlostní vozidla;
- Dvojkolí s tlumiči hluku osazenými na kolech;
- Hnací a nehnací dvojkolí pro osobní vozidla;
- Napěťově a tepelně optimalizovaná dvojkolí, vč. použití pro těžkou nákladní dopravu.

Kola – jsou základním prvkem všech vozidel pohybujících se po kolejnici. Z celkového objemu vyrobených kol, zastupuje největší podíl výroba kol celistvých (monoblokových), dále gumikola, což jsou pryží odpružená kola, kdy se pryž vkládá mezi bruč a kotouč. Čistě obručová kola se již v dnešní době ve firmě nevyrábí.

Monobloková kola mají tenčí desku vytvarovanou podle profilu oproti obručovým kolům (viz obrázek 2). Díky těmto vlastnostem je možné plochu desky udržovat pomocí soustružení a prodloužit tak životnost daného kola. Rozdělujeme je na desky přímé a desky prohnuté s přihlédnutím k vyrovnání deformací vznikajících při brzdění. Rozdíl teplot mezi nábojem kola a jeho věncem snáší lépe prohnuté desky oproti deskám přímým. Kola monobloková se oproti kolům obručovým vyznačují nižší hmotností, ale je u nich větší riziko výskytu lomů, což je velká nevýhoda.



Obrázek 2. Typy desek monoblokového kola [3]

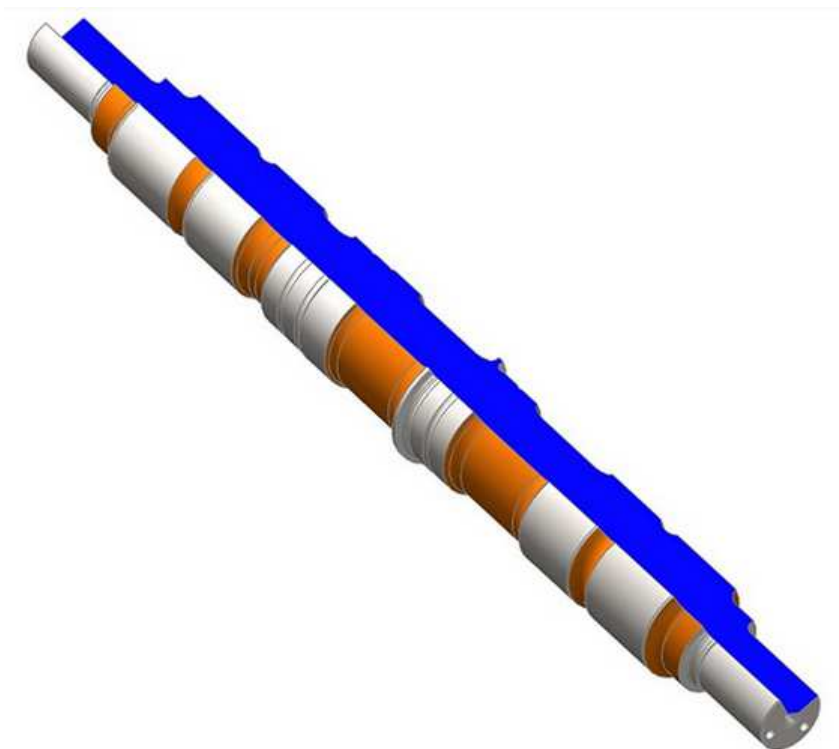
V případě obručových kol je možné danou obruč vyměnit a zachovat tak ostatní dané parametry. Velká nevýhoda obručových kol je složitost výroby a problémy s tepelným roztažením obruče a následným uvolněním od kotouče.

Pryží odpružená kola (gumikola) jsou dostatečně utlumena, což snižuje hlučnost vozu, snižuje tření mezi plochou kola a kolejnicí, díky čemuž je jízdní plocha méně opotřebovaná. Tato kola můžeme najít u vozů metra.

Společnost BTG vyrábí tyto kola:

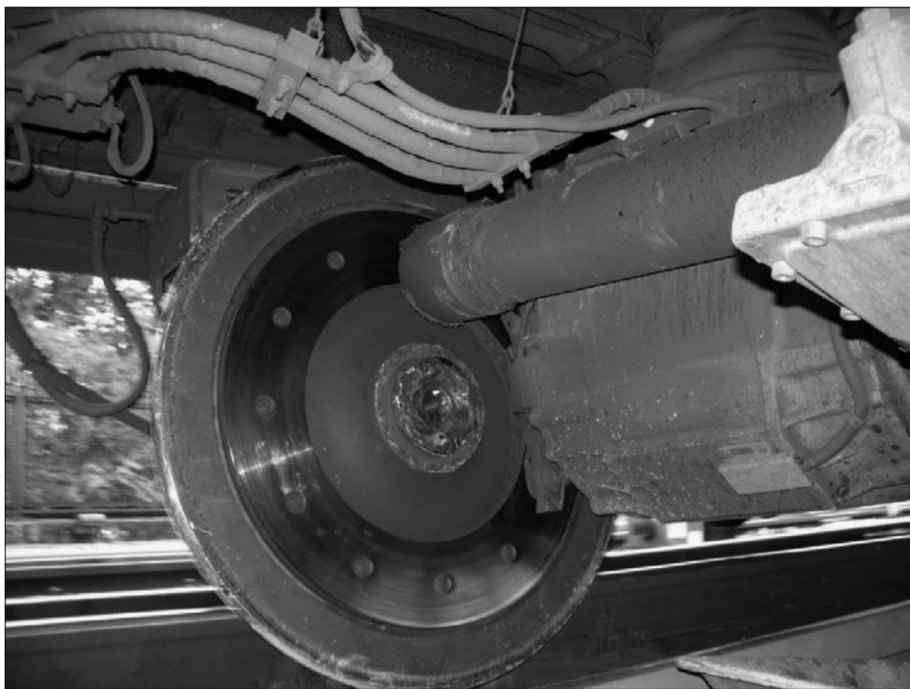
- Napětově a tepelně optimalizovaná kola;
- Speciální kola pro vysokorychlostní vlaky;
- Lokomotivní kola o velkém průměru;
- Pryží odpružená a vysoce odpružená kola;
- Kola zpevněná kuličkováním;
- Kola se systémy tlumení hluku;
- Speciální kola pro doly nebo pomocná kola.

Nápravy – jak již bylo zmíněno výše, náprava je součástí dvojkolí. Je to středová osa, která spojuje dvě železniční kola v jeden celek, viz obrázek 3.



Obrázek 3. Surová náprava se sedly pro převodovku [2]

Z důvodů neustálého namáhání se u náprav klade důraz na bezpečnost a životnost, a proto je konstrukce a provoz založen na dvoustupňovém systému. [4] V roce 1960 byl v Japonsku poprvé použit ultrazvuk pro testování náprav. V roce 1963 byla spuštěna defektoskopie materiálu a díky tomu bylo odhaleno mnoho náprav, které byly poškozeny únavovou trhlinou. [5], viz obrázek 4.



Obrázek 4. Únavová zlomenina nápravy [5]

Společnost BTG vyrábí nápravy určená pro všechna použití:

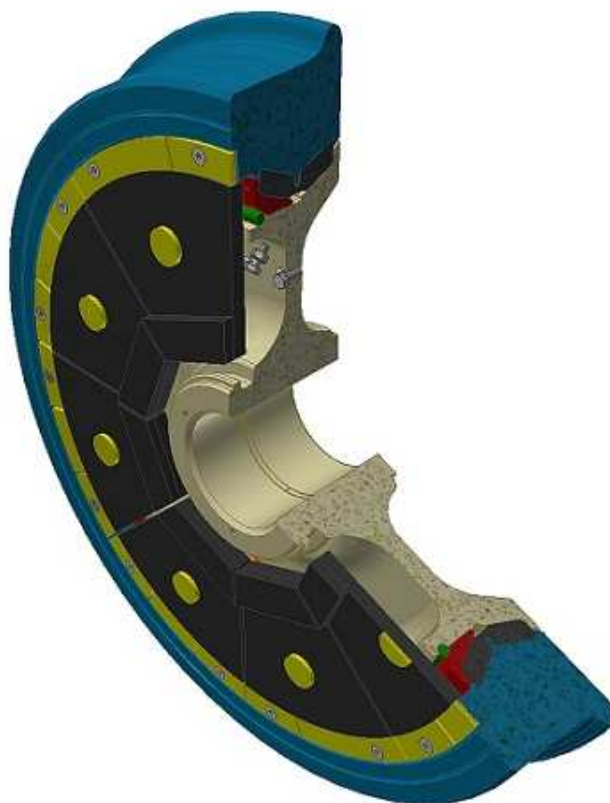
- Nápravy s více sedly;
- Nápravy s pohonem;
- Nápravy hnané a hnací;
- Indukčně kalená náprava BONAXLE®¹;
- Nápravy s povlakem molybdenu a speciálními nátěry;
- Válečkové nápravy;
- Nápravy plné a vrtané

Náhradní díly pro kolejová vozidla – vozidla pohybující se po kolejnici potřebují pravidelnou výměnu opotřebovaných součástí. Náhradní díly proto představují velkou část výroby firmy, která dodává zákazníkům ucelenou nabídku náhradních dílů nutných pro údržbu a dokonalý výkon jejich výrobků: *dvojkolí, kola a nápravy*. [2]

¹ **BONAXLE®**. – je nejpokročilejší a nejkomplexnější řešení nápravy, která k dispozici na celosvětovém trhu. Jako jednotlivé ochranné prvky slouží ošetření povlakem molybdenu, válečkování nebo celá škála speciálních nátěrů [2].

Sortiment náhradních dílů: monobloková (celistvá) kola, obruče, pryží odpružená kola, nápravy a komponenty kol (přítlačné kruhy, obruče, kotouče,); dále nápravnice pro samostatná kola a portálové nápravnice; pryžové segmenty pro pryží odpružená kola; upevňovací materiál pro pryží odpružená kola; zemní kontakty a zemní bočníky; ložiska a ložiskové skříně; kovové komponenty spojené pryží; koncové desky; brzdové destičky a brzdové čelisti a v neposlední řadě také brzdové kotouče. [2]

Tlumiče hluku – společnost Bonatrans Group a.s. se věnuje také otázce „hluku“ na železniční dopravě a té věnuje velkou pozornost. Oddělení vývoje a výzkumu společnosti vyvinulo velkou řadu řešení, které snižují hluk, viz obrázek 5, který je způsoben provozem železničních kol. Toho je dosaženo pomocí speciálně vyvinutých tlumičů hluku, které jsou osazeny na kolech. Takto vyrobené tlumiče hluku mohou dosáhnout snížení valivého hluku až od 5 dB. [2]



Obrázek 5. Listový tlumič hluku [2]

Výhody tlumičů hluku vyrobených společností:

- Vysoký tlumicí účinek;
- Využitelnost ve všech typech železničních vozidel;
- Životnost není omezena životností kol;
- Nízká hmotnost (cca 10 kg);

- Snadná údržba;
- Konstrukce přizpůsobené konkrétním potřebám zákazníka. [2]

2.2 Výroba železničního kola

Výroba monobloku probíhá v těchto etapách

- Kontrola vstupního materiálu
- Náhřev karuselové pece
- Pěchování
- Tvarování
- Děrování
- Válcování
- Prohýbání
- Tepelné zpracování
- Kontrolování tepelně opracovaných surových dílů [6]

2.2.1 Materiál pro výrobu kol a zápustek a nástrojů

Materiálem pro výrobu kol je plynule odlitá vakuovaná ocel, která splňuje žádané vlastnosti. Dodávaný materiál má délku 6 m a průměr v rozmezí 310-525 mm a hmotností v rozsahu 3,3-9,5 tuny. Dodaný materiál se nařeže na pilách LAZZARI, FRAMAG a Wagner řeznými kotouči o maximálním průměru 1500 mm na špalky (obrázek 6), které mají zadanou hmotnost s tolerancí 3 kg. Každý špalek je označen charakteristickými znaky.

Skupiny špalků, které se liší hmotností, dimenzí a pořadovým číslem je nazývána sadou. Každá sada je označena písmenem. Používají se písmena A až P. [6]



Obrázek 6. Vstupní materiál

Na zápustky, které jsou používány při výrobě monoblokových kol jsou kladeny vysoké nároky. Jednou z nejdůležitějších vlastností pro ocel použitou na zápustky je dostatečně vysoká pevnost za zvýšených i normálních teplot, odolnost vůči tepelným rázům, dostatečně vysoká houževnatost a tvrdost, odolnost před otěrovým opotřebením aj.

Na pěchovací a tvarovací zápustky je použit materiál určený normou ČSN 41 1800 s daným chemickým složením viz tabulka 1. Je to uhlíková konstrukční ocel, která je používána pro části stroje, u kterých potřeba vyšší tvrdost a odolnost vůči opotřebením.

Tabulka 1. Obsah uhlíku, fosforu a síry v oceli 11 800 v hm. % [7]

C	P	S
≤0,75	≤0,055	≤0,050

Pro válce, které jsou používány na válcovačce DAVY, byla použita ocel určená normou ČSN 41 9663, viz tabulka 2. Je to ocel niklová pro nástroje při práci za tepla. Hlavní legující prvek je nikl, který netvoří karbidy, ale je v materiálu rozpustná. Dohromady s chromem zvyšuje houževnatost materiálu a jeho prokalitelnost. Wolfram s molybdenem a vanadem zvyšují odolnost vůči otěru.

Tabulka 2. Složení oceli 19 663 v hm. % [7]

C	Mn	S	Cr	Mo	V	Ni
0,50-0,60	0,40-0,90	0,20-0,60	0,90-1,30	0,25-0,50	0,10-0,30	1,40-1,90

Životnost a opotřebení nástrojů a zápustek– je závislá na mnoha faktorech které ji ovlivňují. Mezi tyto faktory patří například zkušenost obsluhy, materiál, který byl použit na výrobu zápustky, složitost výsledného materiálu, technologický postup a parametry stroje na kterém se daná zápustka používá. U tepelného tváření je materiál navíc vystaven tepelnému a mechanickému namáhání, přičemž toto namáhání je v průběhu operací cyklicky opakováno. Síly, které působí na zápustku během kování vyvolávají její roztahování a stlačování. Z tohoto důvodu musí být zápustka schopna odolávat vysokým tlakům a zároveň musí být dostatečně houževnatá.

Vysoká teplota při tváření snižuje pevnost provozních částí nástrojů, ale zvyšuje plasticitu oceli. V důsledku tohoto efektu jsou podporovány deformace nástrojů, je zvýšeno otěrové opotřebení a rychleji se ztrácí původní rozměry. Střídání teplot, které probíhá periodicky během ohřevu a ochlazení nástrojů, vyvolává změny objemu. Na povrchu zápustky vzniká pnutí, které vede k tomu, že se tvoří skupiny malých trhlin. Trhlínky vzniklé tepelnou únavou materiálu zvyšují rychlost opotřebení nástrojů, nebo mohou v jejich důsledku vznikat větší trhliny, nebo může dojít až k únavovým lomům. Materiál, který je následně tvářen na zápustce s trhlínkami, do nich zateče, což v konečném důsledku tyto trhlínky zvětší, tzv. trhlínky rostou [7]

Čím je tvar výkovku složitější, tím více se snižuje životnost zápustky. Dále životnost ovlivňuje také počet přemístění materiálu, kdy je dáno, že čím je menší počet přemístování, tím se opět životnost zápustky prodlužuje. Toto přemístování lze ovlivnit vhodně zvolenou technologií, úpravou předkovku a vypočtením jeho optimální hmotnosti.

Taktéž životnost ovlivňuje hmotnost daného výkovku, druh materiálu určeného k tváření a také materiál, ze kterého je vyroben nástroj, který je použit. Pro materiál vhodný pro nástroje jsou voleny takové, které mají různou hodnotu povoleného namáhání. Vysoké hodnoty namáhání sice zvýší otěrovou odolnost a plastickou deformaci, avšak sníží houževnatost a odolnost vůči vzniku tepelných trhlinek. Nízké hodnoty namáhání, zvýší houževnatost, jenže zároveň snižují plastickou deformaci a otěrovou odolnost, což vede k rychlé ztrátě původních rozměrů a tvaru zápustky.

Před použitím je nástroj zahřán na teplotu v rozmezí 200–300 °C a v případě, že toto nahřátí nestačí, je nástroj nadále přehříván v průběhu operace. Čím je složitější tvar výkovku a čím více obsahuje ostrých záhybů, vrutů, tím je tento přehřev důležitější. Pokud se zápustka dostatečně nepřehřeje, dochází k jejímu následnému praskání. Přehřátí zápustky má vliv také na rychlosti snižování teploty výkovku.

2.2.2 Ohřívání materiálu

Materiál je ohříván v karuselové peci, která slouží pro ohřev špalků pro tramvajové a železniční monobloky a obruče, kotouče a výlisky. Špalky se ohřívají na tvářecí teplotu 1250-1280 °C po dobu 3,5-4,5 hodin. Špalek je do pece umístěn a po nahřátí vyjmut automatickým vyjímacím ramenem (obrázek 7). Pec je rozdělena do 6 zón:

- 1. a 2. předeřívací zóna
- 3. a 4. ohřívací zóna
- 5. a 6. vyrovnávací zóna

Palivem pro ohřev je zemní plyn. Pec je vybavena vysokorychlostními hořáky o výkonu 360 kW se zapalovací automatikou a ionizačním hlídáním plamene. Do pece lze nasadit maximálně 62 řad po 4 špalky, avšak standardně se sadí 4 špalky do 56 řad. Systém ohřevu je složen z řídicího systému teplotního profilu a tepelného režimu KP a systému sledování toku pece. Tyto systémy jsou neoddělitelné a musí pracovat společně.

Režimy pro ohřev v KP jsou uvedeny v počítači a mohou být technologem opravovány v průběhu ohřevu (tabulka 3-a, 3-b , 3-c). Maximální doba pobytu špalku v KP je 10 hodin.
[6]



Obrázek 7. Vyjímání materiálu z karuselové pece

Tabulka 3–a. Volba délky ohřevu v KP dle hmotnosti špalku [8]

Minimální doba pobytu (min.)	60	45	45	30	15
Hmotnost špalku pro jeden tvářecí postup (kg)	2.zóna (°C)	3.zóna (°C)	4.zóna (°C)	5. zóna (°C)	6.zóna (°C)
do 300	-	1210	1280	1280	1280
301-600	1080	1240	1310	1310	1310
nad 601	1150	1270	1320	1320	1320

Tabulka 3–b. Víceuhlíkové oceli(obsah C \geq 70 % na 100kg materiálu), a legované oceli jakostí 55MnSi44 [6]

Minimální doba pobytu (min.)	70	55	55	40	15
Hmotnost špalku pro jeden tvářecí postup (kg)	2.zóna (°C)	3.zóna (°C)	4.zóna (°C)	5. zóna (°C)	6.zóna (°C)
do 300	-	1210	1280	1280	1280
301-600	1080	1240	1290	1290	1290
nad 601	1150	1270	1300	1300	1300

Tabulka 3–c. Legované oceli a veškeré oceli původem z Belgie „EBS“ [6]

Minimální doba pobytu (min.)	70	55	55	40	15
Hmotnost špalku pro jeden tvářecí postup (kg)	2.zóna (°C)	3.zóna (°C)	4.zóna (°C)	5. zóna (°C)	6.zóna (°C)
do 300	-	1210	1260	1260	1260
301-600	1080	1200	1270	1270	1270
nad 601	1150	1230	1280	1280	1280

2.2.3 Operace přechování

Po ohřátí materiálu v karuselové peci, je špalek uchycen čelistmi vyjímacího stroje, který jej uloží na spodní zápustku hydraulického kovacího lisu CKZW 5600/6500, který je nastaven na sílu 56 MN. Pro překonání deformačního odporu je využita energie potencionální, která je získána pomocí vysokotlaké kapaliny. Také je využito faktu, že hydraulická kapalina není

stlačitelná a díky tomu přenáší tlak. Během tohoto posunu jsou z materiálu odstraněny okuje, které se odstraňují dvojstupňově – nejdříve mechanicky rotujícími řetězy a následně proudem vody o tlaku 12,5 MPa. Změna tvaru výchozího špalku není složitá. Je to klasické pěchování. Vlivem velikosti vnitřního zahloubení kulového tvaru je možno kontrolovat tok materiálu jízdní desky v průběhu následné operace tvarování ve směru od náboje kola a jeho hlavy. Výsledná výška pěchování určuje konečnou výšku při následné operaci tvarování. Z tohoto důvodu je výška materiálu nastavena tak, aby se rovnoměrně materiálem vyplnil věnec i náboj kola. Pěchování trvá 5 vteřin a maximální síla kování je 15,5 MN [7, 8, 9]

Počáteční operační teplota klesá na povrchu špalku. Důsledkem je odokujení materiálu, ochlazením okolním vzduchem a stykem materiálu se zápustkou po určitou dobu. V průběhu pěchování dochází díky styku nahřátého materiálu s plochou kovací zápustky na teplotu okolo 1050 °C z původních 1280 °C. Během prodlevy, kdy je spěchovaný materiál mimo zápustku, dojde k prohřátí od jádra materiálu, které má stále původní teplotu. Díky tomu se předpokládá, že v době prodlevy projde v materiálu k úplné rekrystalizaci [9]

Špalek, který byl zbaven okují je na spodní zápustce kovacího lisu vystředěn. Po vystředění se u kovacího lisu odblokuje zámek, špalek je zapěchován (obrázek 8) na výšku zadanou ve výkresové dokumentaci. V průběhu pěchování jsou ze špalku odstraňovány okuje pomocí vzduchu. Po zapěchování je špalek vyzvednut manipulátorem, pěchovací zápustky se posunou do druhé pozice a na jejich pozici se dostanou tvarovací zápustky. Během celé doby této operace, je měřena a zaznamenávána maximální teplota. Měření se provádí bezkontaktním infrapyrometrem IR tec 80, který je umístěn pod kovacím lisem. [8, 9]



Obrázek 8. Operace pěchování

2.2.4 Tvarování na lise

Zapěchovaný špalek je nadzvednut manipulátorem. Po zvednutí se odblokují stoly kovacího lisu a přesunou se do tvarovací polohy. Před přesunem horní zápustky do tvarovací polohy, je namazána grafitovou směsí, která je tvořena grafitem, vazelínou a vodou. Je to mazivo tuhé dispegrované ve vodě, která se při styku s teplým nástrojem (kovací zápustkou) odpaří a na povrchu zápustky vznikne jednolitá vrstva tuhého maziva. Grafit je schopen proniknout do pórovitého povrchu kovu, díky čemuž dojde k velmi těsnému spojení zápustky s kovaným materiálem. Mezi výhody patří také vysoká tepelná stabilita.

Během operace tvarování dojde u materiálu k výrazné změně tvaru, neboť náboj kola získává již konečný tvar, zároveň je mu vtisknuta díra pro následné děrování. Jízdní deska a věnec kola dostává předběžný tvar, který je dokončen až během dalších operací. Tvarování trvá kolem 2 vteřin a maximální síla je 44 MN. Nárůst síly je v průběhu tvarování až v závěru. Důvodem je totiž postupné zaplnění tvaru náboje a věnce. Největší velikosti deformace je vystavena jízdní deska. Horní a spodní zápustka je vyplňována během operace tváření zaplňována stejnoměrně. Během tvarování mohou nastat tři situace pro tok materiálu, kdy je náboj nezatečený, je optimálně zatečený a situace, kdy je náboj přeplněn a materiál teče zpět směrem do seky kola.

Teplota po přechování, před tvarováním má teplotu 1160 ± 40 °C. Tato teplota dokazuje prohrátí povrchové vrstvy v době mezi přechováním a tvarováním, kdy je spěchovaný materiál uchycen manipulátorem a není ve styku se zápustkou. Nejnižší teplota povrchu materiálu po tvarování je 1114 °C. V mezičase mezi tvarováním a děrováním dojde opět k dohrátí povrchu materiálu od jeho jádra a očekává se opět úplná rekrystalizace.

Zapěchovaný špalek je položen na spodní tvarovací zápustku, stoly se uzamknou, špalek je vystředěn a vytvarován 56 MN (obrázek 9). Tento výlisek je manipulátorem dopraven z kovacího lisu do lisu děrovacího. [8, 9]



Obrázek 9. Tvarování zapěchovaného špalku na kovacím lise

2.2.5 Děrování

Po přesunutí výlisku z kovacího lisu na děrovací lis je výlisek sevřen mezi horním přidržovacím nástrojem a průstřižnicí. Po sevření se přitlačí na průstřižník a je vyděrován silou 7,65 MN (obrázek 10). Vyděrovaná část výlisku spadne do bedny umístěné pod děrovacím lisem. Poté je manipulátorem přemístěn k válcovačce kol. [8, 9]



Obrázek 10. Děrování výlisku

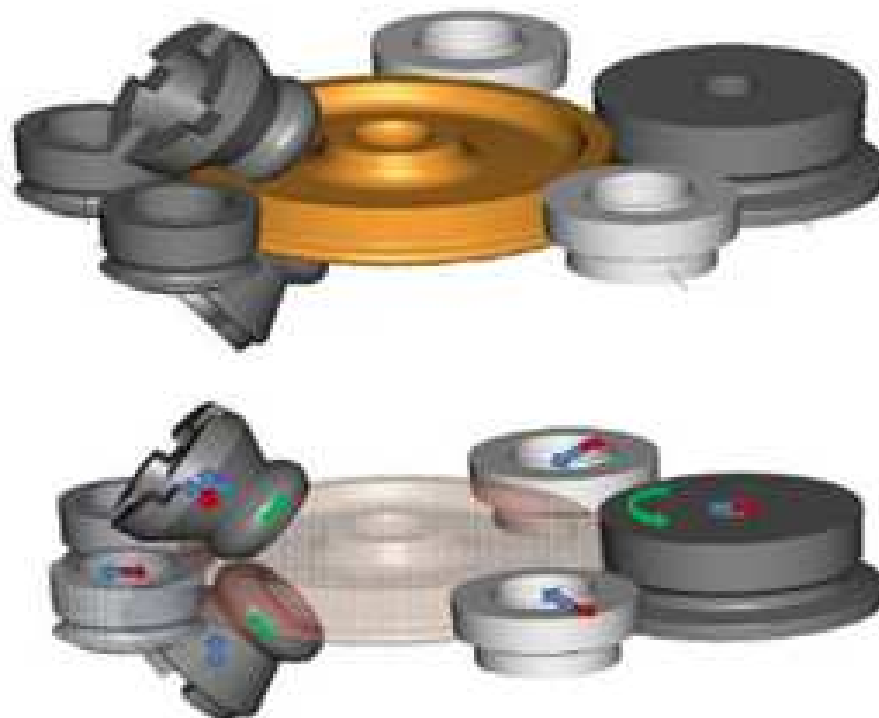
2.2.6 Válcování kola

Po dokončení operace děrování umístí manipulátor výlisek na válcovačku DAVY, která disponuje 7 válci, kdy dva válce jsou vodící, dále je zde jeden hlavní válec, dva tlačné válce a horní a spodní rozválcovací válec. Vodící válce, které se nachází u hlavního válce, viz obrázek č. 11, kolo přidržují a stabilizují po celou dobu válcování. Rozválcovací válce a hlavní válec mají vlastní pohon a přítlačné válce jsou poháněny pohybem válcovaného kola. Kromě pohybu rotačního jsou válce v průběhu válcování rozevírány, dle rozměru válcovaného kola, kdy je pro rozválcovací válce a hlavní válec počítačově zadána také posuvná rychlost. Tlačné válce jsou posouvány na základě průměru válcovaného kola. Všechny válce kromě horního rozválcovacího válce vykonávají pouze pohyb v jednom směru. Horní rozválcovací válec se kromě posuvného pohybu daného průměrem kola posunuje i směrem dolů, dle tloušťky větve kola, která se v důsledku rozválcování kola zmenšuje.

Zde je výlisek uložen do osy válcovačky kol (obrázek 11). Rozválcovací válce jsou rozevřeny, hlavní válec a vodící válce jsou odsunuty a všechny jsou v klidové pozici. Po uložení se hlavní válec přisune, čelisti manipulátoru se rozevrou a uvolní výlisek. Poté rozválcovací válce výlisek sevrou a zapnou se otáčky válcovačky kol. Po 5-6 otáčkách, které mají malou rychlost a po dosednutí všech válců je výlisek válcován rychlostí 50-60 otáček za minutu (obrázek č. 12). Rozválcovací válce jsou po celou dobu válcování chlazeny vodními tryskami. Voda, která dopadá na desku je vyfukovaná tlakovým vzduchem. Zhruba 20 vteřin před dosažením požadovaného průměru na ukazateli je vypnut tlak na hlavní válec. Po dosažení předepsaných rozměrů a tvaru kola jsou vypnuty tlaky a otáčky kola. Hotové kolo uchopí vykladač válcovačky kol a přemístí je na spodní zápustku prohýbacího lisu. Pokud se stane, že je vykladač v poruše, je kolo přemístěno mostovým jeřábem pomocí kleští. Před položením kola na spodní zápustku prohýbacího lisu, je provedeno měření rozměrů, zda vyhovují tvářecímu postupu. Válce jsou následně odsunuty do výchozích poloh. Před válcováním lze válcovací režim předem nastavit, nebo jej zkorigovat podle skutečné teploty jednotlivého kusu před zahájením jeho vyválcování. Optimální parametry daného typu kol určených k válcování, jsou uchovávané v počítači a jsou využívány při dalším válcování stejného typu výrobku. [8, 9]

Během válcování dochází opět ke snížení teploty materiálu. Největší ochlazení je na povrchu náboje, který má z celého kola minimální teplotu okolo 1008 °C. Spodní vrstvy náboje, větve a jízdní desky kola mají teplotu okolo 1100 ± 50 °C. Nejvíce je deformován materiál na

okolku, a naopak nejmenší deformace je na náboji. Válcuje se pohybem po šroubovici, a proto je možné sledovat jev, kdy jízdní deska získává kuželovitý tvar. Po válcování přichází na řadu operace prohýbání desky kola, kdy se kolo podle tvaru zápusťky zkalibruje, díky čemuž se kuželovitost vzniklá válcováním odstraní. Prohýbáním je také možno odstranit nesouosost věnce kola a jeho náboje.



Obrázek 11. Počítačová vizualizace válcování [3]



Obrázek 12. Válcování kola

2.2.7 Tvarování desky kola

Poté co je vyválcované kolo položeno na spodní stůl prohýbacího lisu (obrázek 13), se stůl přesune do pracovní pozice. Vnější prohýbací nástroj sevře čelo věnce kola a vnitřní prohýbací nástroj prohne list kola. Operátor lisu musí vyčkat na náběh II. tlaku. Celkový tlak prohýbacího lisu na desku kola je 27,5 MN. Při použití celistvé prohýbací zápustky je I. tlak zablokován. V případě, že tvar a rozměry prohnutého kola na celistvé zápustce neodpovídají tvářecímu postupu, musí se rozhodnout o použití jiné kombinace náběh tlaku lisu (lze použít jen I. tlak, nebo I. i II. tlak, nebo II. a I. tlak). Po prohnutí desky je zvednut střední příčník a současně zvedací hák zvedne prohnuté kolo za spodní prohýbací zápustky. Spodní stůl se přesune do výchozí polohy a kolo je uloženo na vykládací stoličku. Po uložení dalšího kola na prohýbací zápustku, se spodní stůl přesune do pracovní polohy a vykládací stoličky najede s již prohnutým stolem do obraceče kol, který je ve spodní poloze. Kolo je v obraceči sevřeno a dopraveno před řetězový dopravník, kde se uvolní a tlačkou je po kluzných lištách na dopravník vytlačeno. Následně je řetězovým dopravníkem dopraveno na gravitační dopravník před pece tepelného zpracování. V případě, že zákazník nemá jiné požadavky, než jsou běžné, je kolo na prohýbacím lise označeno na vnitřní straně číslem tavby a pořadovým číslem do hloubky maximálně 2 mm. Přesně to však určuje předpis DTP. [8, 9]

Za prohýbacím lisem je bezkontaktní měřicí systém, který umožňuje změření rozměrů a tvarů žádaných hodnot a snížit tak zmetkovitost. Kola jsou měřena na dopravníku před tepelným zpracováním. Toto zařízení umožňuje měřit kola i za studena. Tyto výsledky slouží pro úpravu kalibrací. Ověřené rozměry jsou zaznamenány a uloženy v počítači. [8]



Obrázek 13. Tvarování desky kola na lise

2.2.8 Tepelné zpracování

V této kapitole budu popisovat způsob tepelného opracování kol na úseku STZ (staré tepelné zpracování) a NTZ (nové tepelné zpracování). [8]

2.2.8.1 Staré tepelné zpracování

Vyválcovaná výroba z trati je odebírána ze spádového dopravníku manipulačními jeřábky BRUN nebo DAVY a je ukládána na pecní vůz u vstupu do 1. tunelové pece. Železniční monobloky jsou odebírány po jednom nebo dvou kusech najednou drapákem a jsou ukládány do sloupců po 4 kusy na sebe v 6 sloupcích na pecním vozíku. Po naplnění vozíku je vozík potlačen dále do pece novým prázdným vozíkem dopraveným přesuvnou z vratké koleje. 3 tunelové pece mají nístěj tvořenou třinácti pecními vozíky.

V první tunelové peci se provádí protivločkové žíhání, nebo opatření (u vakuovaných taveb). Ve druhé tunelové peci následuje ohřev na kalici nebo normalizační teplotu. U výstupu

z druhé tunelové pece je případě normalizačně žíhané výroby plný vozík přesunut mezi TP2 a TP3 k odstání, případně přímo do třetí tunelové pece, kde následuje řízené ochlazování.

Železniční monoblok je manipulačním jeřábkem s drapákem ukládán na jeden z pěti kalicích strojů, kde je obvodově zakalen. Zakalené výrobky jsou stejným nebo dalším manipulačním jeřábkem dopraveny na vozík u vstupu do třetí tunelové pece, kde jsou monobloky popouštěny na požadované teplotě. Po průchodu třetí tunelovou pecí je vozík s výrobky dopraven na stanoviště skládání, kde je složen pomocí mostového jeřábu.

Pro ukládání kol do 3. tunelové pece platí stejné zásady jako pro ukládání do 1. tunelové pece. Kola jsou popouštěna v 1.-5. pásmu. Celková doba pobytu kola v peci je 5,5 hodiny, z toho ve 3. a 4. pásmu minimálně 3 hodiny. [9]

❖ **Protivločkové žíhání a protivločová opatření**

Protivločkové žíhání je prováděno na tavebách s obsahem vodíku větším než 2,5 ppm. U taveb, které mají obsah vodíku od 2,51-3,0 ppm se protivločkové žíhání provádí v 1. tunelové peci. Celková doba pobytu materiálu v peci je minimálně 5 hodin. Výstupní teplota materiálu je 500-600 °C. U taveb s obsahem vodíku 3,01-4,0 ppm je nutné provádět protivločkové žíhání ve všech třech tunelových pecích. Zde je celková doba pobytu v pecích zhruba 20 hodin. U taveb s obsahem vodíku do 2,5 ppm je nutno provádět protivločkové opatření, kdy se do 10 minut po odválcování nasadí do 1. tunelové pece. Celková doba pobytu v peci by měla být 4 hodiny a teplota nesmí klesnout pod 400 °C. [9]

❖ **Kalení**

Kola jsou po ohřevu v 2. tunelové peci vyjímána pecním jeřábkem DAVY (obrázek č. 14) a jsou ukládány na stůl kalícího stroje. Kola jsou následně spuštěna na řetězový dopravník, který je dopraví do kaličky (obrázek č. 15). Zde jsou vystředěny do osy stroje, vyzvednuty, přitlačeny na horní rotující zápusťku a roztočeny. Při roztočení je kolo sprchováno na jízdní ploše v šesti místech. Sprchována je pouze jízdní polocha, a to v pásmu od vrcholu okolků po hranu jízdní plochy a vnějšího čela. Kola jsou kalena ve vodorovné poloze okolkem nahoru. Během kalení se voda nesmí dostat na desku a náboj kola. Délka sprchování je stanovena v závislosti na ekvivalentním uhlíku vzorcem: $C_{ekv} = C [\%] + \frac{1}{4} Mn [\%]$. Kalení kol při teplotě nižší než 800 °C je zakázáno. [9]



Obrázek č. 14 Jeřábek DAVY



Obrázek č. 15 Kalící zařízení

❖ Normalizační žíhání

Normalizační žíhání se provádí za účelem zjemnění struktury, zrovnoměnění mechanických vlastností a odstranění pnutí. Normalizované monobloky jsou ukládány na vozík a celková doba pobytu v 2. tunelové peci je minimálně 6 hodin. V případě ohřevu ze studeného stavu se minimální doba prodlužuje o 2 hodiny. Teploty v jednotlivých pásmech pece jsou nastaveny dle režimu tepelného zpracování uvedeného v databázi počítače.

Po vytažení plného vozu z 2. tunelové pece může následovat odstání vozu mezi pecemi nebo řízené ochlazování. Účelem odstání je dosáhnout intenzivního ochlazení výroby volným vysláním tepla. Doba odstání je předepsaná tepelným režimem. Při řízeném ochlazování se po provedeném náhřevu a výdrží na normalizační teplotě v 2. tunelové peci a předepsané době odstání mezi pecemi, je vozík s výrobky přetlačen do 3. tunelové pece k řízenému ochlazování. Způsob řízeného ochlazování závisí na dané jakosti a ekvivalentu uhlíku konkrétní tavby v rámci dané jakosti. Všechny potřebné údaje jsou k dispozici v počítačové databázi. [9]

Linka starého tepelného zpracování byla v roce 2012 odstavena a je využívána jen ve velmi výjimečných případech během výpadku na lince nového tepelného zpracování.

2.2.8.2 Nové tepelné zpracování

Linka nového tepelného zpracování, viz příloha č. 1, byla do provozu spuštěna v roce 2012, kdy bylo potřeba zmodernizovat a změnit způsob kalení z důvodů zvyšujících se nároků na výrobky.

V této části budu popisovat jednotlivé oddíly na lince nového tepelného zpracování. [10]

❖ Dopravní řetězové zařízení k vysokoteplotní peci

Naválcovaná produkce je za pomoci manipulátoru M1 ukládána po jednom kuse na řetězový dopravník C1 (obrázek 16), který je opatřen chladícím tunelem. Na konci řetězového dopravníku s chladícím tunelem C1 se nachází podavač RT1, který překládá produkci na následující dopravník s chladícím tunelem C2. Na konci řetězového dopravníku s chladícím tunelem C2 se nachází podavač RT2, který překládá produkci na následující řetězový dopravník C3. Na konci řetězového dopravníku C3 je produkce odebírána pomocí sázecího manipulátoru M2 a ukládána na pecní vozíky pro vysokoteplotní vozovou pec. [10]



Obrázek 16. Dopravník C1 s chladícím tunelem

❖ **Dopravní řetězové zařízení po výstupu z nízkoteplotní vozové pece 1 a 2**

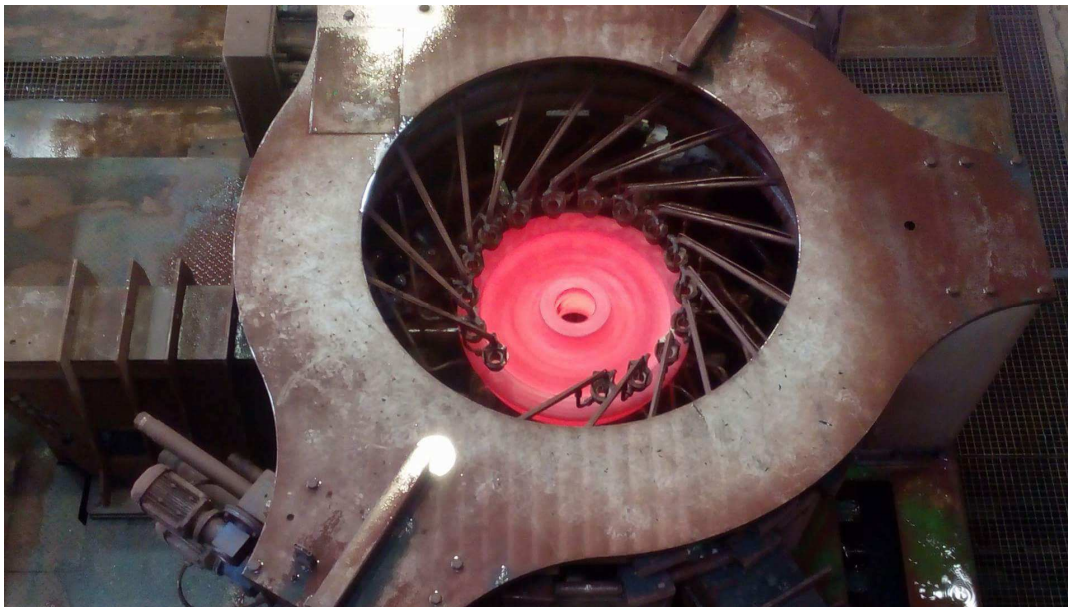
Po příjezdu vozíku na poslední pozici před výstupní vrata popouštěcí nízkoteplotní pece, vrata se otevřou a vozík je vytlačen ven. Produkce se položí na řetězový dopravník s chladícím tunelem C4 a dále pokračuje přes chladicí dopravník C5 a C6, kde se při přepravě materiál ochladí k předání do odokujovacího stroje, nebo se uloží do boxu, odkud je následně odebrána vysokozdvihným vozíkem. [10]

❖ **Kalící stroje a vodní hospodářství**

Na novém tepelném zpracování je k dispozici 8 kalících zařízení (obrázek 17), které jsou umístěny ve dvou řadách a jedna kalící nádrž pro celobjemové kalení nacházející se mezi vysokoteplotní peci a kalícím zařízením. Kalící zařízení je určeno pro kalení věncové části železničních monobloků nebo srovnatelných výrobků s rotační symetrií a dalších specifikací. Zavážení kalícího zařízení se provádí na základě příslušného uvolnění určitého stroje tak, že manipulátor výrobek odkládá na upínací desku zvedacího válce z horní strany. Zvedací válec kaliček se vždy nacházejí ve své horní pozici. Po ukončení kalení se nadzvednou zvedací válce do horní pozice a vyzvednou výrobky z kalícího zařízení. Manipulátor M3 uchytí výrobek a přesune jej mimo kalící zařízení.

Doba kalení činí pouze několik minut, a proto lze kalící linku obsluhovat jedním manipulátorem. Každé kalící zařízení je vybaveno řídicí jednotkou s počítačem a ty buď

samostatně nebo spolu řídí procesy, které probíhají v kalícím zařízení. Ukládání a odebírání materiálu z kalícího zařízení je řízeno nadřazeným ovládáním. Kalící zařízení pracuje v plně automatickém režimu, který ukončuje cyklus kalení téměř ve stejnou dobu. [10]



Obrázek 17. Kalící zařízení NTZ

❖ **Vodní hospodářství**

Nové tepelné zpracování má k dispozici vlastní vodní hospodářství. Hlavní nádrž na vodu zajišťuje dostatečné množství vody pro kalení. Během kalení se část vody odpaří, proto se objem vody v nádrži zmenšuje. Pro vyrovnání vodní hladiny je přiváděna čerstvá voda automaticky pomocí kontroly naplnění nádrže. Hlavní nádrž je rozdělena do šesti kaskádovitě umístěných komor. Díky tomuto umístění se voda dokonale zbaví nečistot. Voda se v nádrži ohřívá nebo chladí na 30 °C. Stav tepelného výměníku je monitorován pomocí tlakových senzorů na přívodu a odvodu. [10]

❖ **Pece a pecní hořáky**

NTZ disponuje třemi vozovými pecemi. Jedna pec je austenitizační (vysokoteplotní) a dvě jsou nízkoteplotní popouštěcí pece č. 1 a 2, které jsou vytápěny topným plynem.

Vysokoteplotní pec (obrázek 18) se vytápí pomocí 26 rekuperačních hořáků s výkonem 160 kW a 34 rekuperačních hořáků s výkonem 80 a 100 kW.

Nízkoteplotní pece jsou vytápěny pomocí 6 vysokorychlostních hořáků o výkonu 100 kW a 46 vysokorychlostními hořáky o výkonu 80 kW. [10]



Obrázek 18. Nahřívací pec

❖ Popis technologie výroby a tepelného zpracování

Po vyválnování je výroba z válcovny kol a obručí odebírána pomocí portálového manipulátoru M1 (obrázek 19), který produkci uloží na dopravník C1. Dopravník C1 je vybaven chladícím tunelem. Kolo postupně prochází chlazeným traktem C1 a C2, na jehož konci se nacházejí podavače RT1 a RT2, které zajišťují uložení na následující dopravník. Během dopravy na dopravníku C1 a C2 jsou kola schlazena z 900 °C na 450 °C.

Tepelné zpracování se provádí za účelem dosažení požadované struktury s určitými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Změny vnitřní stavby materiálu a v jejich důsledku i změny vlastností jsou vyvolány kvantitativními změnami teploty, nebo účinky aktivního prostředí. Teplotní cyklus je změna teploty výrobku v daném rozmezí v závislosti na čase. Žíhací cyklus se rozděluje do několika etap:

- Ohřev, charakterizuje jej vyšší teplota a rychlost ohřevu.
- Prohřev, je důležitý pro vyrovnání teplot mezi povrchem a středem výrobku, který se ohřívá.
- Výdrž na teplotě a ochlazování, je udržování výrobku na určité teplotě po určitou dobu, která je potřebná k průběhu fyzikálních a chemických přeměn, například k austenitizaci nebo homogenizaci ocelí. Ochlazování závisí na rychlosti ochlazování, tedy na poklesu teploty na jednotku času. [10]



Obrázek 19. Manipulátor M1

❖ **Kalení a popouštění**

Když je k dispozici kalící zařízení, poskytne řídicí systém hlášení směrem k řízení vrat austenitizační pece, z té vyjede pecní vůz, který je naložen koly a zůstane stát před pecí odkud je sázecím manipulátorem M3 přemístěn k jedné řadě kaliček. Doba od vytažení z pece, do začátku kalení, nesmí přesáhnout 70 sekund. Celkem disponuje NTZ 8 kaličkami ve dvou řadách po 4, kde dochází k obvodovému kalení. Při celoobjemovém kalení se materiál položí na rošt a za pomoci motoru se ponoří do kalícího média čímž je voda. Po skončení procesu kalení je výroba vyjmuta z kaliček, nebo nádrže a uložena na připravený vůz pro nízkoteplotní pece pomocí manipulátoru M3 naloženy na vůz, který se nachází na vratné koleji RC2, mezi pecemi. Cestou se rozhodne, do které nízkoteplotní pece bude vozík vsunut k popouštění. Když na výstupu z nízkoteplotní pece opustí vozík pec, vtáhne se v úseku zavážení nízkoteplotních pecí naložený vůz dovnitř. Pecní atmosféra je v rozmezí 470-680 °C, kdy kolísání teplot nesmí překročit $\pm 10-15$ °C, v závislosti na tom, ve které je to zóně. Jakmile vozík dorazí na poslední pozici před vrata pece, je po otevření pecních vrat vysunut ven, kde jen manipulátor M4 přepraví k poslední části NTZ. Na řetězových chladících dopravnících C4-C6 se dochladí na požadovanou teplotu. Dopravník C6 končí na stanovišti, kde se výroba skládá za pomoci manipulátoru M5 na dopravní box, kde jsou výrobky odebírány za pomoci trnu ve vertikální poloze okolkem k VZV. [10]

2.2.9 Kontrola surových dílů

Poslední částí surového neopracovaného monobloku je část kontroly, kde je kolo podrobeno tryskání, měření za studena, odběru vzorků pro destruktivní zkoušky, zkoušce tvrdosti a třídění. [9]

❖ Tryskání

Tepelně zpracované výrobky jsou po vychladnutí vloženy do tryskače, kde se z nich odstraní okuje. Výrobek je tryskán ocelovými broky o zrnitosti 1,2-1,5 mm. Tryskání se provádí před ultrazvukovou zkouškou, zkouškou tvrdosti na Brinellovací lince a mechanickým opracováním. [9]

❖ Třídění a identifikace

Po operaci tryskání následuje třídění a popis identifikačních a specifických údajů, popřípadě štítkování dle technických podmínek Evidenční karty a požadavků zákazníka. [9]

3 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU NA MONOBLOKY

V této kapitole jsou popsány zkoušky, které jsou používány ve společnosti Bonatrans. Tyto zkoušky materiálů zjišťují kvalitu či nekvalitu materiálu.

Zkoušky jsou prováděny v prostorách suchých bezprašných a s teplotou mezi 17-28 °C. Samotná konstrukce výrobku a jeho výroba přímo ovlivňují kvalitu výrobku, zároveň je velmi důležitý následný systém kontroly kvality. Aby nemusely být výrobky určené ke zkoumání zasílány do akreditované laboratoře, vybudovala firma Bonatrans vlastní zkušebny – metalografické, nedestruktivní, únavové a metalografické, které zajišťují všechny běžné zkoušky podle nejpřísnějších parametrů.

Pokud si zákazník přeje, může si přezkoumat jak kvalitu materiálu na výrobu, tak i konečný výrobek. Většinou však všechno přezkoumání přenechá zákazník pracovníkům ve zkušebně, kteří se zabývají kvalitou materiálu.

Firemní metalurgická zkušebna je certifikována dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 jako samostatná nezávislá zkušebna, která provádí služby nejen pro zákazníka, ale také externí zákazníky a firmy.

Metalurgická zkušebna provádí zkoušky v rozsahu akreditace. Kromě toho provádí zkoušky i mimo danou akreditaci v oboru mechanickém, metalografickém, nedestruktivním, chemickém a v oboru únavového zkoušení. [11]

Mezi zkoušky uvedené v rozsahu akreditace patří:

Mechanické zkoušky

Zkoušky tohoto typu slouží v první řadě pro ověření vlastností výrobku, které udávají odolnost vůči působení sil.

- ✓ Zkouška tvrdosti podle Brinella, Vickerse, Rockwella
- ✓ Zkouška rázem v ohybu
- ✓ Zkouška tahem
- ✓ Zkouška lomové houževnatosti
- ✓ Zkouška padajícím závažím

Metalografické zkoušky

Ověřování struktury a čistoty materiálu.

- ✓ Baumannova zkouška
- ✓ Makroskopická zkouška leptáním
- ✓ Stanovení mikrostruktury
- ✓ Stanovení velikosti zrna
- ✓ Stanovení podílu strukturních složek
- ✓ Stanovení mikročistoty

Nedestruktivní zkoušky

Tyto zkoušky odhalují povrchové a vnitřní vady.

- Ultrazvuková zkouška
- Magnetická zkouška
- Zkouška metodou vířivých proudů (prováděna mimo rozsah akreditace)

Chemické zkoušky

- ✓ Určení C, Mn, Si, P, S, Cr, Ni, Cu, Mo, V, B, Ti, Zr, Co, W, Nb, As, Pb, Sn, Al metodou emisní spektrometrie

Únavové zkoušky

Ověření chování materiálu při dynamickém namáhání.

- ✓ Únavová zkouška kola, nápravy, nebo dvojkolí

- ✓ Únavová zkouška pryží odpruženého kola za rotace
- ✓ Odolnost povlaku proti cyklickému mechanickému namáhání

Zvláštní zkoušky

Ověřování odolnosti materiálu a povlaků dle norem pro železniční průmysl a jiné zkoušky nutné pro ověření výrobků a výrobních procesů.

- ✓ Zkouška tuhosti pryžových segmentů
- ✓ Odolnost povlaku vůči nárazům
- ✓ Odolnost povlaku vůči jeho šterkování
- ✓ Laboratorní tepelné zpracování [11]

3.1 Tahové zkoušky

Tyto zkoušky slouží k ověření odolnosti a pevnosti materiálu vůči plastické deformaci.

Vyhodnocované veličiny:

- Mez pevnosti, označována: jako R_m , jednotka: MPa – maximální napětí při deformaci zkušební tyče.
- Mez kluzu, označena: R_e , jednotka: MPa. Je to napětí, po jehož překročení dojde k trvalé deformaci. Každá metoda má své označení, např. $R_{p0,2}$, R_{eL} , a další.
- Tažnost, označujeme A , jednotkou jsou % – trvalá deformace materiálu, kterou vyvolá zkouška tahem. Je závislá na výchozí délce zkušební tyče.
- Kontrakce, značíme Z , jednotka jsou %. Je to zúžení zkoušeného vzorku.

Během zkoušky je daná zkušební tyč, kterou získáme z výrobku, deformována až do doby, než dojde k jeho přetržení.

Odběr se provádí v místě, které si určí zákazník, nebo nám jej udávají technické podmínky. Tyč má minimální délku 60 mm v místech mezi zkušebními hlavami a má průměr 10 mm. Tyč má zadán průměr středové části, která je ukončena hlavami určenými ke zkoušení. Za tyto hlavy je materiál uchycen ve zkušebním stroji. [12]

Na začátku zkoušení se přeměří průměr tyče a označí se středová část, abychom byli schopni zjistit výchozí délku a mohli určit tažnost tyče. Tyč je po označení a změření potřebných údajů vložena do zkušebního stroje (obrázek 20) a je zahájeno zatěžování tyče, které je ukončeno

jejím přetržením. Rychlost zatěžování se pohybuje v mezích $6\text{--}60 \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$ většinou je to však rychlost $30 \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$. Po upevnění tyče ve stroji se příčník posune směrem nahoru pomocí pohybu hydraulického pístu. Čidla snímající dráhu a sílu v průběhu zkoušky tvoří diagram, kdy na ose x zaznamenávají velikost deformace a na ose y okamžitou sílu. [12]



Obrázek 20. ZD-40 trhací stroj [3]

3.1 Zkoušky rázu v ohybu

Zkouška slouží pro zjištění velikosti nárazové práce nutné k rozlomení daného vzorku. Je to srovnávací veličina popisující pevnost materiálu v době před porušením při vzniku vrubu.

Hodnotíme:

- KU5 [J] – nárazová práce zjišťována průletem kladiva na vzorek. Kladivo má energii 300 J. Vrub má tvar písmene „U“ a hloubku 5 mm.
- KCU5 [$\text{J}\cdot\text{cm}^2$] – toto je vrubová houževnatost. Je to nárazová práce, která je přepočítána na plochu vzorku. Vrub má tvar písmene „U“ a hloubku 5 mm.

- KV2 [J] – nárazová práce zjišťovaná průletem kladiva na vzorek s energií 300 J. Vrub má tvar písmene „V“ a hloubku 2 mm.
- KCV2 [J·cm²] – zde je skryta vrubová houževnatost. Je to nárazová práce přepočítána na plochu u vzorku, kdy má vrub tvar písmene „V“ a hloubku 2 mm

Zkouška spočívá ve zlomení vzorku, který byl vybrán ke zkoušení. Na daném vzorku byl udělán potřebný zářez. Měříme práci, kterou materiál spotřebuje při průletu kladiva. [12]

Zkušební vzorek má ve většině případů rozměry 55x10x10 mm, kde délka je 55 mm a šířka s výškou mají 10 mm. Vrub je umístěn ve střední části vzorku, který byl zákazníkem určen ke zkoušce. Ve většině případů se pro zkušební vzorky volí vrub typu U5 a během zkoušek za snížených teplot (-20 °C–60 °C) je to vrub V2. [12] Vzorek je umístěn do stroje (obrázek 21) a je na něj spuštěno, které ho rozlomí. Na stupnici, nebo digitálním zařízení, se zobrazí výsledná nárazová práce, kterou vzorek spotřeboval během průletu kladiva. Z lomové plochy můžeme zjistit % křehkého lomu křehkého a % houževnatého lomu. [12]



Obrázek 21. Kyvadlové kladivo CHARPY RKP 300 [12]

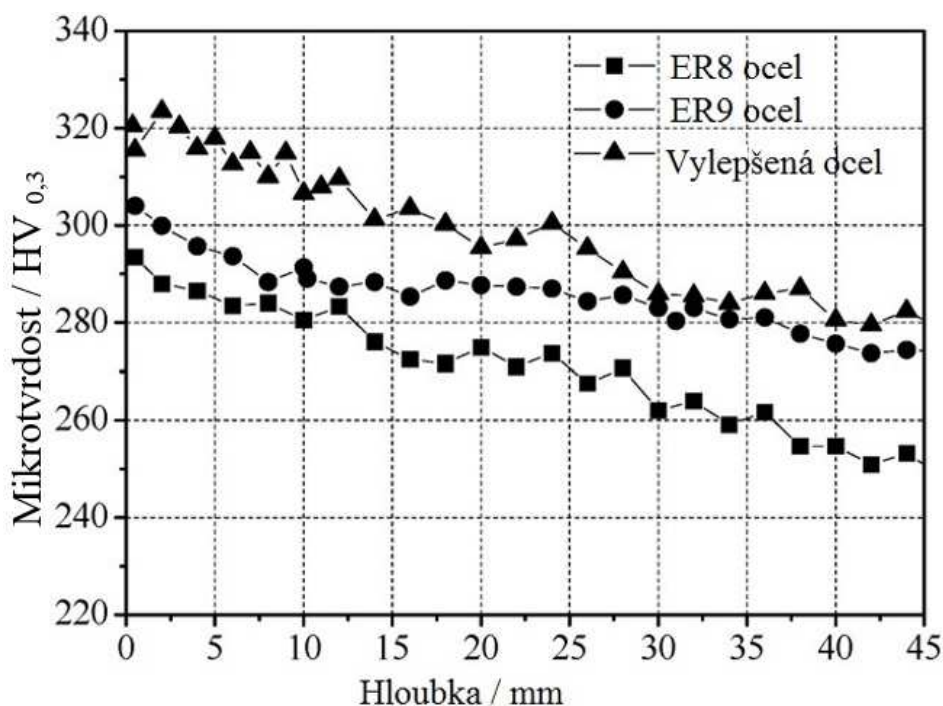
3.2 Zkoušky tvrdosti materiálu

Zkouška tvrdosti materiálu ověřuje, zda je materiál dostatečně tvrdý, dle žádosti zadavatele (zákazníka), nebo dle normy. Výsledné hodnoty slouží ke srovnání s hodnotami tvrdosti jiných materiálů, nebo ke srovnání s požadovanou tvrdostí. [12]

Metody zkoušení tvrdosti:

- ✓ HBW5/750 – Zkušební zkouška – Brinellova zkouška tvrdosti. Je prováděná tvrdou kovovou kuličkou z tvrdokovu o průměru 5 mm, která je zatížena silou 7355 N.
- ✓ HBW10/3000 – provozní zkouška – je to stejná zkouška jako předchozí, jen kulička má průměr 10 mm a síla zatížení je 29400 N.
- ✓ HV30 – Vickersova zkouška tvrdosti, provádí se silou 294 N.
- ✓ HRC – Rockvelova zkouška, která je prováděna silou 1471 N s předzatížením 981 N

Tvrdost vñence monobloku klesá s její hloubkou (obrázek 22). Vylepšená ocel s vyšším obsahem křemíku a manganu se vykazuje vyšší tvrdostí než ocel s označením ER8 a ER9 (tabulka 4). Bylo prokázáno, že 1 % křemíku zvýší mez kluzu o 81 MPa.



Obrázek 22. Vliv hloubky materiálu na mikrotvrdosti [13]

Tabulka 4. Srovnání ocelí ER8 a ER9 s vylepšenou ocelí

Ocel	Mez kluzu Mpa	Pevnost v tahu MPa	Snížení plochy %	Prodloužení do přetržení %
ER8	610	945	19,5	58,5
ER9	615	965	19,0	55,0
Vylepšená	650	985	22,5	59,3

[13]

Vylepšená ocel je používána především pro lokomotivní dopravu v zemích s hornatým terénem a v zemích s nižšími teplotami.

U tvrdosti podle Vickerse se odeberou dva vzorky, jeden je z nedeformovaného materiálu a druhý je z materiálu, který byl napínán, ale je před tepelnou úpravou. Oba vzorky se vloží do trubicové pece s inertní dusíkovou atmosférou. V této peci se zabrání oxidaci a oduhličení. Vzorky se tepelně zpracují ve vybraných časech a teplotách. Následně je při pokojové teplotě provedena zkouška tvrdosti. Výslednou tvrdostí je průměrná hodnota tří zářezů, které byly zkoumány mikroskopem. [14]

Vzorci, které se používají pro zjištění tvrdosti vznikly díky zkušenostem s prací na materiálu. Neexistovala dostatečná fyzikální základna, od které by se dalo odrazit a pracovat. Do vzorců pro výpočet se sice zadávají hodnoty s jednotkami, ale tvrdost vždy vyjde bez jednotky. Uvádí se jen daná metoda, která byla použita a podle které se tvrdost určila (230 HB, 200 HV nebo 40 HRC). [12]

3.3 Lomová houževnatost

Charakterizuje materiálovou odolnost vůči šíření trhlin při vlivu tahového napětí na materiál.

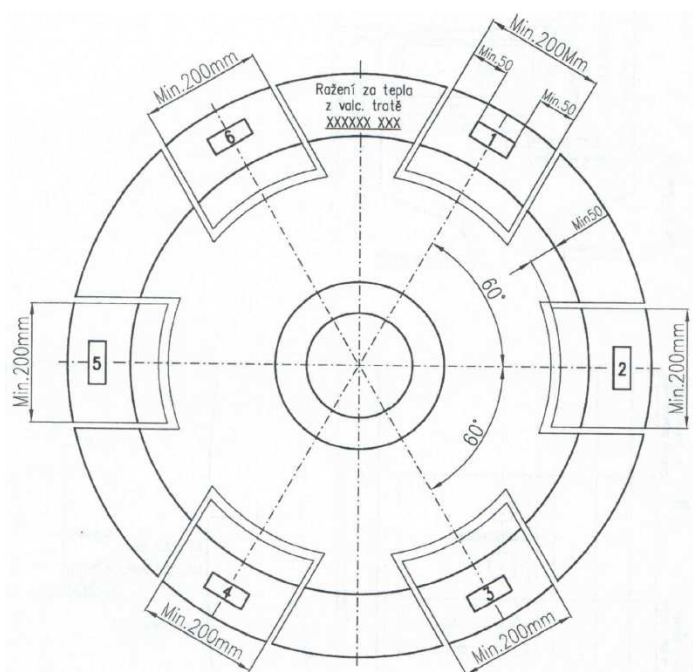
U zkušební vzorku, který je odebrán z předem daného výrobku, je vytvořena umělá únavová trhlina a zkoumá se šíření této trhliny kolmo materiálem při plynulém zatížení vzorku. Zkouška lomové houževnatosti je kombinace zkoušky rázu v ohybu a tahové zkoušky. [12]

Únavová trhlina se ve zkoušeném materiálu šíří podobně, jako trhlina vzniklá během běžného používání materiálu, což nám velmi pomáhá.

Hodnotíme:

$$- K_Q (K_{IC}) [\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}]^2$$

Zkušební segmenty pro výrobu vzorku K_Q (obrázek 23) jsou z věnce kola vypalovány plamenem a ořezány na pilách. Než začneme tvořit únavovou trhlinu, musí být velikost vady, ze které pak vznikne únavová trhlinu, přesné rozměry, které jsou dány s určitou tolerancí. Proto je nutné přípravu vady kontrolovat pomocí snímače, monitorujícího rozevření trhliny. Pomocí těchto dat, jsme schopni vypočítat z tuhosti materiálu délku trhliny. Ve firemní laboratoři používají sinusový režim, což znamená, že materiál zatíží během sekundy 30 x v rozmezí síly 0,4-40 tun. Po 55 minutách, což je 100 000 cyklů, vzniká trhlinu, která je dlouhá 30 mm. [12]



Obrázek 23 Rozmístění segmentů vzorků K_Q pro lomovou zkoušku

3.4 Čistota mikrostruktury

Závisí na velikosti vměstků v daném typu oceli. Výsledky jsou srovnány s danými etalony. Mezi porovnávané vměstky patří síra, hlinitany, křemičitany, kysličníky globulárního tvaru. Maximální dosažené hodnoty vměstků v silné a slabé řadě v kategorii viz tabulka 5.

² K_{IC} [$\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$] Lomová houževnatost určená za podmínek rovinné deformace

K_Q [$\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$] Provizorní hodnota lomové houževnatosti

Pokud jsou splněny podmínky, pak je K_Q rovno K_{IC} což je o hodnota lomové houževnatosti.

Pokud tyto podmínky nesplňuje není zkouška platnou zkouškou K_{IC}

Tabulka 5. Maximální hodnoty vměstků ve slabé a silné řadě podle kategorií [15]

Typ vměstků	Kategorie 1		Kategorie 2	
	Hrubé (maximum)	Jemné (maximum)	Hrubé (maximum)	Jemné (maximum)
A (síra)	1,5	1,5	1,5	2
B (hlinitany)	1	1,5	1,5	2
C (křemičitany)	1	1,5	1,5	2
D (globulární kysličníky)	1	1,5	1,5	2
B + C + D	2	3	3	4

3.5 Chemické složení

Díky této zkoušce zjistíme hned a přesné složení materiálu, aniž bychom museli vzorek složitě připravovat.

Vyhodnocujeme % přítomnost prvků jako jsou: C, Mn, Si, P, S, Cr, Ni, Cu, Mo, V, B, Ti, Zr, Co, W, Nb, As, Pb, Sn, Al a jiné.

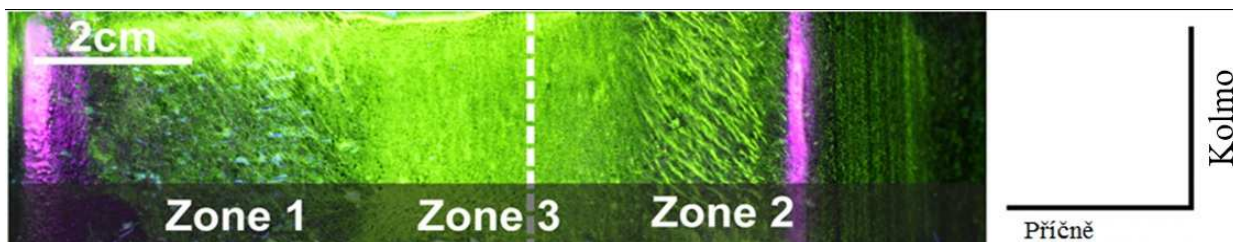
Tuto zkoušku provádíme pomocí energetického výboje, který se uskuteční mezi předmětem určeným ke zkoušení a elektrodou u zařízení, kterým zkoušku provádíme. Zkoušku provádíme v prostředí argonu, který má čistotu 99,999 %. Výsledná hodnota je vyhodnocena CCD detektory. Jednotlivá vyzařovaná částice má charakteristickou vlnovou délku, díky které je možné rozeznat výskyt prvku ve zkoušeném tělese. Pomocí velikosti vyzařování, jsme schopni zjistit koncentraci prvku. [12]

Než se materiál začne zkoušet, je nutné jej povrchově obrousit, aby se povrch očistil, zbavil se nánosů, usazenin, mastnoty a dalších nežádoucích prvků, které by nám mohli ovlivnit výsledek zkoušky. [12]

Jakmile je materiál očištěn, je následně vložen do stroje určeného ke zkoušení, kde se během série 3 zajiskření, probíhající mezi zkoušeným materiálem a elektrodou provede zkouška. Po jednotlivých zajiskřeních je zaznamenán výsledek. Na konci zkoušení jsou zaznamená hodnoty zprůměrovány a vyhodnoceny. [12]

3.6 Magnetická zkouška

U materiálu ER8 jsou zobrazeny trhliny v zóně RF1, kdežto zóna RF2 je bez viditelného poškození (obrázek 24). Zkouška se provádí 15-20 mm pod povrchem kola, kdy struktura byla tepelně připravena při 900 °C po dobu 10 minut. Následně bylo kolo kaleno. Po vyjmutí je materiál zkoumán ve třech polohách zón RCF1 a RCF2 a také ze středu jízdní plochy RCF3. V zóně RCF3 nebyly objeveny žádné trhliny.



Obrázek 24. Magnetická kontrola částic kola 1 náslapná plocha, hrotová příruba se nachází na pravé straně obrázku, přerušovaná čára udává běhoun vztažného bodu (70 mm od zadní části příruby). RCF trhliny jsou viditelné v zóně 1 a 2 [16]

4 VLASTNÍ NÁVRH POSTUPU VÝROBY NOVÉHO KOLA

Firma nabízí zákazníkům kompletní konstrukční řešení dvojkolí, kdy zákazník zadá své podmínky pro daný výrobek a zátěžové stavy, které musí výrobek splňovat. Oddělení konstrukce následně vykonstruuje výrobek, který je schopen tyto zadané mechanické vlastnosti, hmotnost a náklad na životní cyklus splnit.

Tato část je věnována postupu výroby kola jeho výsledků, kterých dosáhne materiál ve zkušební laboratoři.

4.1 Požadavky zákazníka

Zakázka je na výrobu kola s tvářecím postupem 255.28, kdy technické podmínky byly určeny normou ČSN EN 13262 (obrázek 25)

Technická příprava výroby			
Shoda se zakázkou (poptávkou)	nenalezena		
Druh výrobku	DV	Vzor	9073
Popis výrobku	DV		
Zák. popis výrobku	Essieu-monté, roue 455.0.255.000.03, type 9064	Č.pol.zákazníka	
Tvář./kov. postup	MZ255.28/NA135.12	Osobní/Nákladní	NÁKLADNÍ
Čistá hmotnost	990	Celková hmotnost	990
Zkouška K1C	ANO		
Upřesnění zkoušky K1C			
Jakost VK	ER7		
Upřesnění jak. VK	Vstupní materiál zajišťovat dle ML pro značku oceli "R73" z TŽ a.s. nebo ABS. Dne 23.1.2017, T. Tkáč		
Jakost VN	EA1N		
Upřesnění jak. VN	Kontí 530mm, materiál A1K5. 18.1.2017 Černochová		
Jakost obruče			
Upřes. jak. obruče			

Obrázek 25. Evidenční karta výrobku

4.2 Zpracování výkresu

Výkres, viz příloha 2, byl zpracován podle požadavků uvedených v evidenční kartě výrobku, které si určil zákazník.

4.3 Stanovení ohřívacích teplot

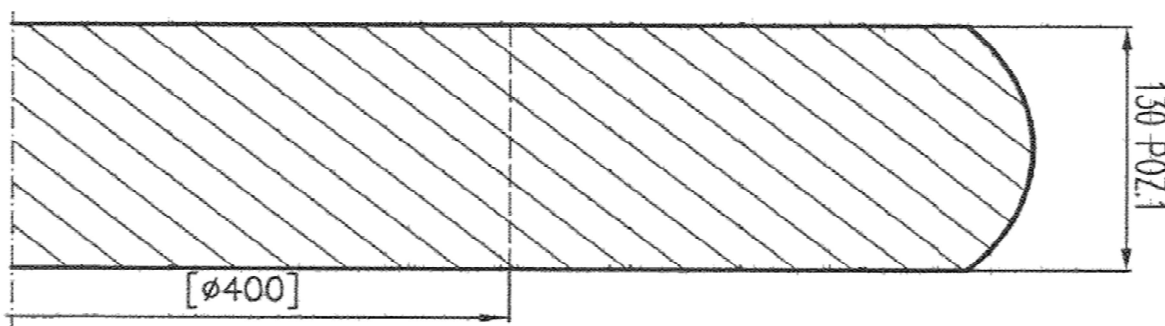
Výchozím materiálem je ocel jakosti ER73. Hmotnost špalku byla dle výsledných rozměrů kola na 473 kg \pm 3 kg. Na základě této hmotnosti byl vybrán ohřívací režim pece, dle již dříve zpracovaných DTP předpisů viz tabulka 6. Nahřívací teploty pro karuselovou pec jsou stejné pro jakýkoli typ výrobku. Rozdílná je pouze teplota nahřívání, která se určuje podle hmotnosti daného špalku.

Tabulka 6. Stanovení teplotního režimu pro KP

Minimální doba pobytu (min.)	60	45	45	30	15
Hmotnost špalku pro jeden tvářecí postup (kg)	2.zóna (°C)	3.zóna (°C)	4.zóna (°C)	5. zóna (°C)	6.zóna (°C)
do 300	-	1210	1280	1280	1280
301-600	1080	1240	1310	1310	1310
nad 601	1150	1270	1320	1320	1320

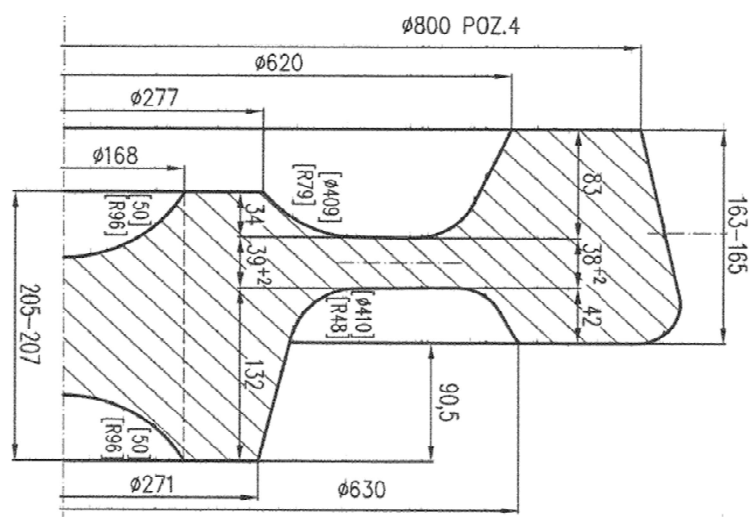
4.4 Navrhnutí vhodného tvářecího postupu a tvarovacích nástrojů

Výchozím materiálem byla ocel jakosti ER7. Hmotnost špalku byla 476 ± 3 kg o průměru 400 mm, který byl spěchován na výšku 130 mm s průměrem 800 mm, viz obrázek 26-1.



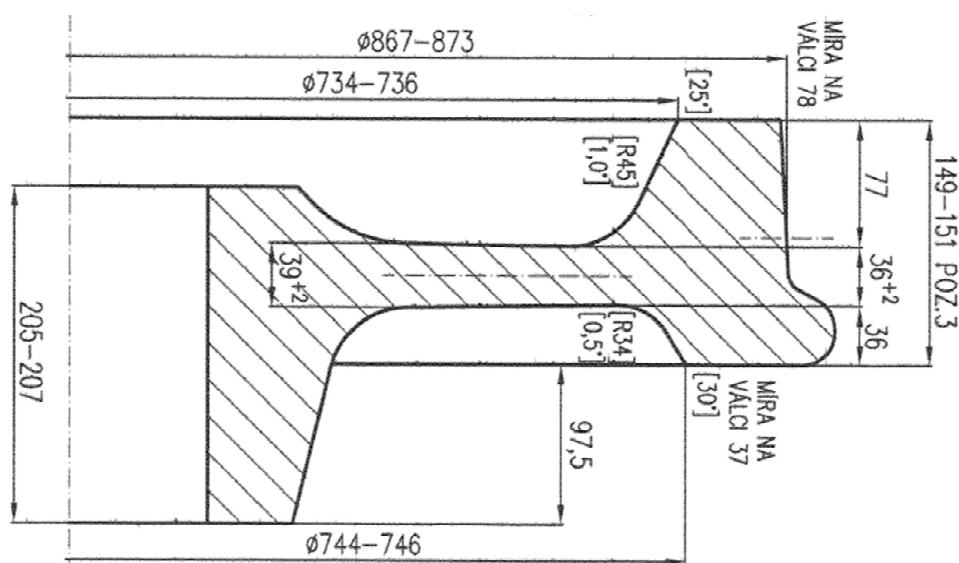
Obrázek 26-1. Pěchování materiálu

Druhou a třetí operací je tvarování a děrování (obrázek 26-2). Při tvarování se na spěchovaném špalku vytvaruje náboj s předkovanou dírou a deska s věncem získají přibližný tvar pro následující operaci válcování a prohýbání. Po vytvarování je materiál vyděrován na děrovacím lise.



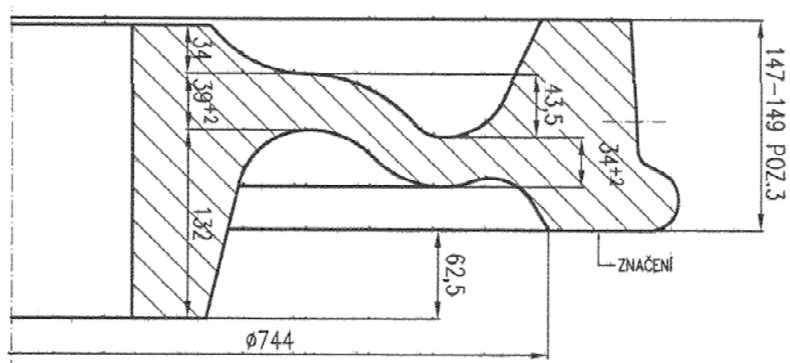
Obrázek 26-2. Tvarování a děrování materiálu

Následuje čtvrtá operace, kterou je válcování, kdy je kolo rozválcováno na konečný průměr, který je dle výkrevsové dokumentace 870 ± 3 mm (obrázek 26-3)



Obrázek č. 26-3. Válcování

Po vyválnování je materiál prohnut a označen (obrázek 26-4). Na prohýbacím lise je kolu dán konečný tvar jízdní desky, následně je označen číslem tavby a pořadovým číslem a je přesunut bubnovým přepravníkem k následujícímu tepelnému zpracování.



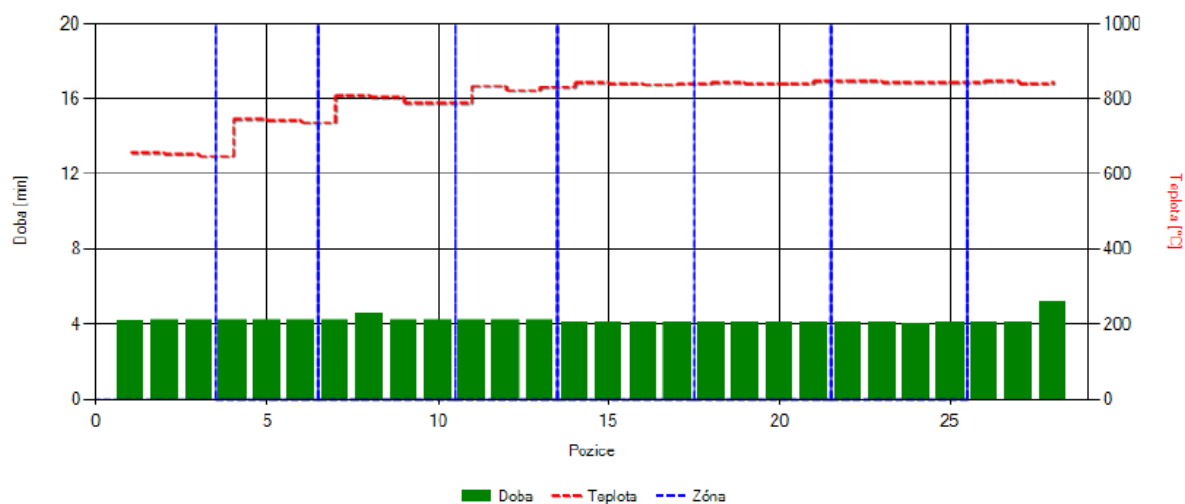
Obrázek 26-4. Prohýbání desky kola

Obrázky 26 (1-4). Jednotlivé operace výroby monoblokového kola

4.5 Teplotní režimy

Tabulka 7. Nový teplotní režim monoblokového kola typu 225.28

Zóna	Doba pobytu [h:min]	Teplota v zóně			DTP
		Min	Max	Průměr	
1	0:13	639	667	654	660
2	0:13	728	752	744	750
3	0:17	784	813	799	810
4	0:13	820	845	831	845
5	0:16	835	850	845	850
6	0:16	841	852	847	850
7	0:16	843	852	849	850
8	0:13	801	867	850	850
Celkem	1:57				1:52

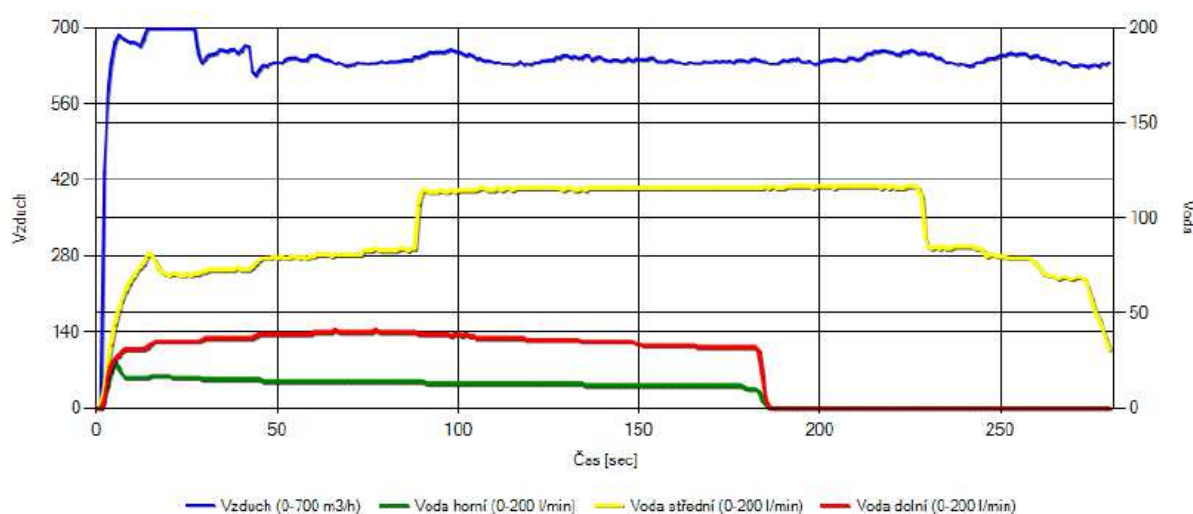


Obrázek 27. Teplotní záznam z pece

Z počítačového záznamu (tabulka 7, obrázek 27) ohřevu na kalící teplotu je vidět, že zadaný čas náhřevu byl dodržen, až na poslední krok ve vysokoteplotní peci, kdy byl prodloužen o 5 minut, což bylo způsobeno delším krokováním při vytahování materiálu z pece.

Tabulka 8. Předpis pro kalení

Kalení	Kalička č.	Doba [min]	Recept
	8	4:40	225.28 R7T 0.69

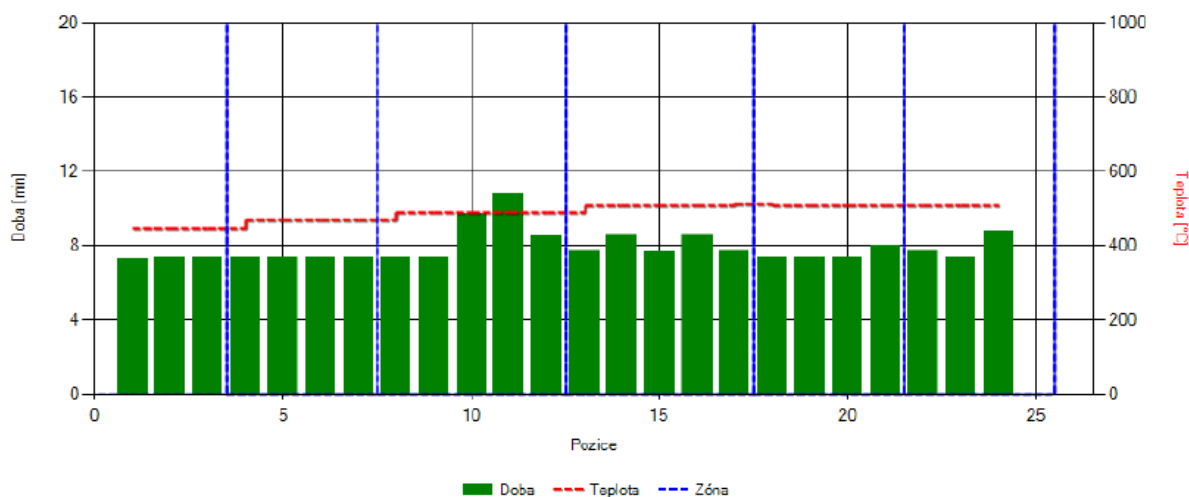


Obrázek 28. Počítačový záznam z kalení

Z počítačového záznamu (obrázek 28) je patrné, že předepsaná doba kalení (tabulka 8) byla dodržena. Vzduch, horní, střední a dolní ostřik byl řízen dle předepsaného receptu, který byl zapsán v DTP předpisu byl dodržen a byl řízen automaticky počítačem.

Tabulka 9. Teplotní režim nízkoteplotní pece pro 225.28

Zóna	Doba pobytu [h:min]	Teplota v zóně			DTP
		Min	Max	Průměr	
1	0:22	434	456	449	450
2	0:30	462	473	469	470
3	0:44	483	492	489	490
4	0:40	487	516	509	510
5	0:30	499	514	509	510
6	0:24	485	518	510	510
Celkem	3:10				2:56



Obrázek 29. Tepelný záznam z nízkoteplotní pece

Ze záznamů (tabulka 9, obrázek 29) ohřevu na popouštěcí teplotu je vidět, že zadaný čas náhřevu byl dodržen, pouze ve 2 zóně byl prodloužen o 14 minut, kdy důvodem bylo špatné krokování zadané v počítači.

4.6 Technologické zkoušky

V této části se nachází výsledky zkoušek daného výrobku, provedených ve zkušební laboratoři společnosti Bonatrans.

4.6.1 Chemické složení

Tabulka 10. Výsledky chemického složení [10]

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Cr+Mo+Ni
Předpis dle ČSN EN 13262+A2 kat.2	max. 0,52	max. 0,40	max. 0,80	max. 0,020	max. 0,015	max. 0,30	max. 0,30	max. 0,30	max. 0,08	max. 0,06	max. 0,50
Analýza tavby	0,50	0,31	0,75	0,016	0,007	0,05	0,05	0,24	0,010	0,004	0,30
Výsledek výrobku	0,51	0,31	0,74	0,013	0,004	0,04	0,03	0,23	0,008	0,003	0,268

Chemie z tavby a výrobku je pro $H < 2,5 \text{ ppm} \rightarrow$ kategorie 2

4.6.2 Zkouška tahem

Tabulka 11. Definované a výsledné hodnoty pro tahovou zkoušku [10]

	Rp0,2 [MPa] (mez kluzu)	Rm [MPa] (tahová pevnost)	A [%] (tažnost)
Předpis pro věnec	≥ 520	820-940	≥14
Předpis pro desku	informativní	red. ≥ 110	≥16
Výsledky pro věnec	585	894	17,8
Výsledky pro desku	420	719	21,6

4.6.3 Zkouška rázem v ohybu

Tabulka 12. Předpis a výsledky zkoušky rázem v ohybu [10]

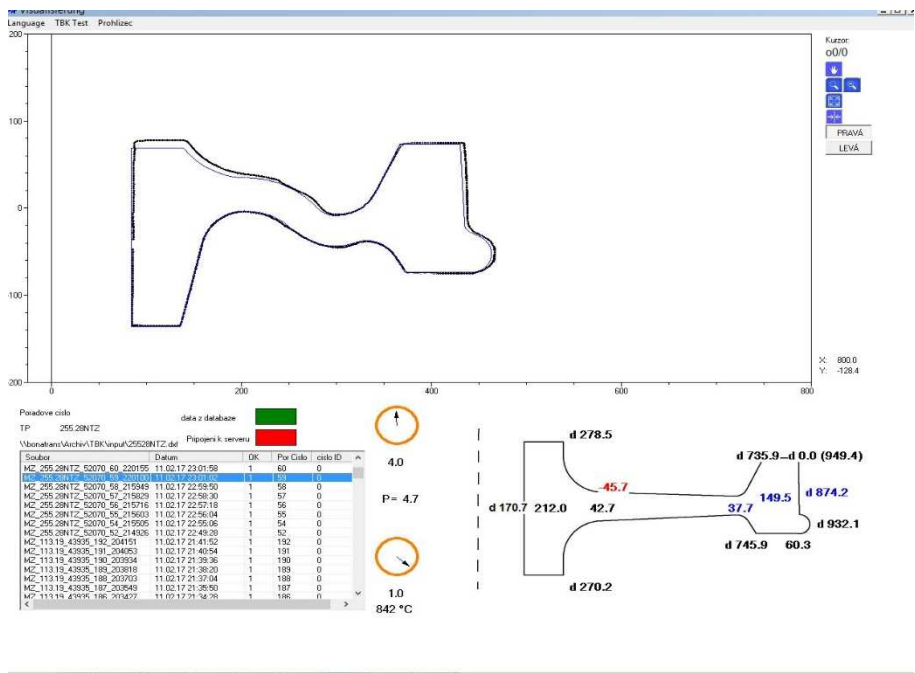
	KU [J] (při 20 °C)	KV [J] (při -20 °C)
Předpis	≥ 12	≥ 7
Výsledné	28	15
	26	14
	28	12

4.6.4 Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla provedena na čtyřech místech vybraného kola. Minimální předepsaná hodnota pro zkoušku tvrdosti je 235 HBV, jednotlivé výsledky v bodě 1-4 byly: 255 HBV, 251 HBV, 249 HBV, 210 HBV. Touto zkouškou bylo zjištěno, že tvrdost odpovídá hodnotám předepsaným v normě a požadovaným zákazníkem.

4.6.5 Laserové měření

Laserové měření výrobku, viz obrázek 30, se provádí po vyválnování kola na válcovačce kol DAVY.



Obrázek 30. Výsledky laserového měření

5 Závěr

Cílem této práce bylo popsat a zpracovat výrobu nového typu monoblokového kola, dle výkresu a požadavků od zákazníka. Jakmile byla zakázka přijata, musely být stanoveny přídavky, které jsou ve shodě s postupem a možnostmi pro výrobu monobloku. Návrh, který společnost vypracovala, byl schválen zákazníkem a mohla tak začít další etapa výroby, což je technologický postup. Vypočítal se rozměr a hmotnost špalku s danými tolerancemi, potřebnými pro výrobu monobloku. Dále byl dle předpisu DTP určen optimální ohřev materiálu v karuselové peci, aby splnil vše, co bylo žádáno. Byla promyšlena operace petchování, tvarování a s tím vybrány vhodné zápustky, byl vybrán vhodný válcovací postup. Poté se zpracoval postup tepelného zpracování, ve kterém byl určen časový a teplotní režim. Po dokončení výroby monobloku byly nachystány vzorky na zkoušky. Výsledky zkoušek odpovídaly předepsaným hodnotám, uvedeným v normě ČSN EN 13262 + A2.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BALCÁREK, V., P. SOBOL, R. WOLEK, P. KLUSKOVÁ, P. JANOSŠ a P. KUFO. *50&10 BONATRANS*. Ostrava: Tiskárna Graico s.r.o, 2009.
2. *Dvojkolí* [web]. Bohumín: Bonatrans, 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.ghh-bonatrans.com/cs/vyroby-a-sluzby/dvojkoli/>
3. WEBER, Jiří a Petr PLACHÝ. *Tváření a tepelné zpracování železničních kola a náprav v GHH-BONATRANS GROUP* [ppt]. In: . [cit. 2017-04-19]
4. ZERBST, U., KLINGER, C., KLINGBEIL, D. Structural assessment of railway axles – A critical review. *Engineering Failure Analysis* 35 (2013) 54-65.
5. HIRAKAWA, K., TOYAMA, K., KUBOTA, M. The analysis and prevention of failure in railway axles. *International Journal of Fatigue* 20 (1998) 135-144.
6. LEPARA, Emir a Jiří WEBER. *DTP č.24 - 018: Obsluha karuselové pece*. Bonatrans, 2010.
7. JENDŘEJČÍK, Z. *Struktura a zkoušení materiálu: Skripta BONATRANS Bohumín*. Bonatrans Group, 2006.
8. KASTERKO, R., J. WEBER a J. JEDLIČKOVÁ. *Učební texty: Interní Dokument*. 2014. Bonatrans Group, 2014.
9. PLACHÝ, Petr a Jiří WEBER. *DTP č.24 - 027: Materiálový tok na válcovně kola a obručí*. Bonatrans, 2016.
10. LEPARA, Emír a Jiří WEBER. *DTP č.21 - 017: Materiálový tok, tepelné zpracování, třídění a expedice kol a obručí*. Bonatrans, 2016.
11. TKAČ, T., L. VAVŘÍČEK a E. LEPARA. *DTP č.21 - 064: Materiálový tok a tepelné zpracování kol, kotoučů a obručí na úseku NTZ*. Bonatrans, 2016.
12. *Laboratoře a zkušební zařízení* [online]. [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: <http://bonatrans.prohl.cz/cs/jakost/laboratore-a-zkusebni-zarizeni?showall=1>
13. DONGFANG, Z. et. al *Optimization of strength and toughness of railway wheel steel y alloy design. Materials and Design* [pdf]. 2016, **92**, 998-1006.

14. DIMITROS, N, J AHLSTRÖM a A MALAKIZADI. *Mechanical properties and fatigue behaviour of railway wheel steels as influenced by mechanical and thermal loadings.* *Wear* [pdf]. 2016, **366-367**, 407-415.
15. ČSN EN 13262: *Železniční aplikace - Dvojkolí a podvozky - Kola - Požadavky na výrobek.* 2011.
16. CVETKOVSKI, K a J AHLSTRÖM. *Characterisation of plastic deformation and thermal softening of the surface layer of railway passenger wheel treads.* *Wear.* [pdf]. 2013, **300**, 200-204.